

ISSN 2077-2084

Том 15, №3, '2023

12+

10.36508/RSATU.2023.43.54.001

# ВЕСТНИК

РЯЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ  
П.А. КОСТЫЧЕВА



АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



**ВЕСТНИК  
РЯЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
имени П. А. КОСТЫЧЕВА**

*Входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки*

- 4.1.1. *Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)*
- 4.1.3. *Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)*
- 4.1.5. *Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (сельскохозяйственные науки)*
- 4.1.5. *Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки)*
- 4.2.2. *Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки)*
- 4.2.2. *Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (биологические науки)*
- 4.2.4. *Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки)*
- 4.2.5. *Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные науки)*
- 4.2.5. *Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (биологические науки)*
- 4.3.1. *Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)*
- 4.3.1. *Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (сельскохозяйственные науки)*
- 4.3.2. *Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки)*

**Научно-производственный журнал**

Издается с 2009 года  
**Выходит один раз в квартал**  
**Том 15, № 3, 2023**

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет  
имени П. А. Костычева»

**СОСТАВ**

редакционной коллегии и редакции журнала «Вестник РГАТУ»

**Главный редактор**  
**С. Н. Борычев,**  
д-р техн. наук, профессор

**Заместитель  
главного редактора**  
**Г. К. Рембалович,**  
д-р техн. наук, профессор

**Технический редактор**  
**И. В. Чивилева,**  
канд. психол. наук

**Члены редакционной коллегии:**

- |  |   |
|--|---|
| <p>Л. А. Антипкина, канд. с.-х. наук, доцент<br/>Н. Г. Байбобоев, д-р техн. наук, профессор<br/>С. Н. Борычев, д-р техн. наук, профессор<br/>М. А. Габиров, д-р с.-х. наук профессор<br/>Г. В. Гавардашвили, д-р техн. наук, профессор<br/>П. П. Гамаюнов, д-р техн. наук, профессор<br/>К. Н. Дрожжин, канд. с.-х. наук, доцент<br/>В. И. Желязко, д-р с.-х. наук, профессор<br/>А. М. Зайцев, канд. с.-х. наук<br/>О. А. Захарова, д-р с.-х. наук, доцент<br/>В. В. Калашников, д-р с.-х. наук профессор<br/>Д. Е. Каширин, д-р техн. наук, доцент<br/>Л. Г. Каширина, д-р биол. наук, профессор<br/>С. С. Козак д-р биол. наук, профессор<br/>А. А. Коровушкин, д-р биол. наук, профессор<br/>М. Ю. Костенко, д-р техн. наук, профессор<br/>Я. В. Костин, д-р с.-х. наук, профессор<br/>К. К. Кулибеков, канд. с.-х. наук<br/>В. И. Левин, д-р с.-х. наук, профессор<br/>Н. В. Лимаренко, д-р техн. наук, профессор<br/>О. В. Лукьянова, канд. с.-х. наук, доцент<br/>Ю. А. Мажайский, д-р с.-х. наук, профессор<br/>В. П. Максименко, д-р с.-х. наук, доцент<br/>Н. И. Морозова, д-р с.-х. наук, профессор</p> | <p>Ф. А. Мусаев, д-р с.-х. наук, профессор<br/>М. Г. Мустафаев, д-р аграрных наук, доцент<br/>А. И. Новак, д-р биол. наук, доцент<br/>М. Д. Новак, д-р биол. наук, профессор<br/>Г. В. Ольгаренко, д-р с.-х. наук, профессор<br/>Е. Н. Правдина, канд. с.-х. наук, доцент<br/>Г. К. Рембалович, д-р техн. наук, профессор<br/>А. П. Савельев, д-р техн. наук, профессор<br/>О. В. Савина, д-р с.-х. наук, профессор<br/>В. Г. Семенов, д-р биол. наук, профессор<br/>А. А. Симдянкин, д-р техн. наук, профессор<br/>О. И. Соловьева, д-р с.-х. наук, доцент<br/>Д. И. Удавлиев, д-р биол. наук, профессор<br/>И. А. Успенский, д-р техн. наук, профессор<br/>Р. Н. Ушаков, д-р с.-х. наук, профессор<br/>Г. Н. Фадькин, канд. с.-х. наук, доцент<br/>О. А. Федосова, канд. биол. наук, доцент<br/>Л. А. Храброва, д-р с.-х. наук, профессор<br/>М. Н. Чаткин, д-р техн. наук, профессор<br/>А. Ф. Шевхужев, д-р с.-х. наук, профессор<br/>А. В. Шемякин, д-р техн. наук, профессор<br/>Ю. Х. Шогенов, д-р техн. наук, старший научный сотрудник,<br/>академик РАН<br/>И. А. Юхин, д-р техн. наук, профессор</p> |
|--|---|

Компьютерная верстка и дизайн – **Н. В. Симонова**

Корректор – **Е. Л. Малинина**

Перевод – **В. В. Романов, И. В. Чивилева.**

Адрес редакции: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1.,  
ауд. 103, тел. 8(4912)34-30-27, e-mail: vestnik@rgatu.ru  
Тираж 700. Первый завод 200. Заказ № 1562  
Дата выхода в свет 29.09.2023.

Регистрационная запись СМИ ПИ № ФС77-51956, зарегистрировано  
Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций 29 ноября 2012 г.  
Отпечатано в Издательстве ФГБОУ ВО РГАТУ. Адрес издательства,  
типографии: г. Рязань, ул. Костычева, д. 1., ауд. 103. Цена издания 185 руб. 50 коп.  
Подписной индекс издания в каталоге "Пресса России" 82422

**HERALD OF  
RYAZAN STATE AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY  
Named after P.A. Kostychev**

*It is included in the list of peer-reviewed scientific publications, which should publish the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of Science, for the degree of Doctor of Science, on scientific specialties and their respective branches of science:*

- 4.1.1. General agriculture and plant growing (Agricultural Sciences)*
- 4.1.3. Agrochemistry, agricultural science, plant protection and quarantine (Agricultural Sciences)*
- 4.1.5. Land reclamation, water management and agrophysics (Agricultural Sciences)*
- 4.1.5. Land reclamation, water management and agrophysics (Technical Sciences)*
- 4.2.2. Sanitation, hygiene, ecology, veterinary-sanitary expertise and biosafety (Veterinary Sciences)*
- 4.2.2. Sanitation, hygiene, ecology, veterinary-sanitary expertise and biosafety (Biological Sciences)*
- 4.2.4. Private zootechnics, feeding, feed preparation and livestock production technologies (Agricultural Sciences)*
- 4.2.5. Breeding, selection, genetics and biotechnology of animals (Agricultural Sciences)*
- 4.2.5. Breeding, selection, genetics and animal biotechnology (Biological Sciences)*
- 4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (Technical Sciences)*
- 4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (Agricultural Sciences)*
- 4.3.2. Electrical technologies, electrical equipment and power supply of the agro-industrial complex (Technical Sciences)*

Scientific-Production Journal

Issued since 2009  
issued once a quarter

**Tom 15 # 3, 2023**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev"

"RSATU Herald" EDITORIAL STAFF

**Editor in Chief**

**S. N. Borychev,**  
Doctor of Technical Science, Full  
Professor

**Editor in Chief Deputies**

**G. K. Rembalovich,**  
Doctor of Technical Science, Full  
Professor

**Technical editor**

**I. V. Chivileva,**  
Candidate of Psychological Science

**Editorial Staff:**

- |  |  |
|--|--|
| <p><b>L. A. Antipkina</b>, Candidate of Agricultural Science, Associate Professor</p> <p><b>N. G. Baiboboev</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor</p> <p><b>S. N. Borychev</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor</p> <p><b>M. A. Gabibov</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>G. V. Gavardashvili</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor</p> <p><b>P. P. Gamayunov</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor</p> <p><b>K. N. Drozhzhin</b>, Candidate of Agricultural Science, Associate Professor</p> <p><b>V. I. Zhelyazko</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>A. M. Zaitsev</b>, Candidate of Agricultural Science</p> <p><b>O. A. Zakharova</b>, Doctor of Agricultural Science, Associate Professor</p> <p><b>V. V. Kalashnikov</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>D. E. Kashirin</b>, Doctor of Technical Science, Associate Professor</p> <p><b>L. G. Kashirina</b>, Doctor of Biological Sciences, Full Professor</p> <p><b>S. S. Kozak</b>, Doctor of Biological Science, Full Professor</p> <p><b>A. A. Korovushkin</b>, Doctor of Biological Science, Full Professor</p> <p><b>M. Y. Kostenko</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor</p> <p><b>Y. V. Kostin</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>K. K. Kulibekov</b>, Candidate of Agricultural Science</p> <p><b>V. I. Levin</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>N. V. Limarenko</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor</p> <p><b>O. V. Lukyanova</b>, Candidate of Agricultural Science, Associate Professor</p> <p><b>Y. A. Mazhaysky</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>V. P. Maksimenko</b>, Doctor of Agricultural Science, Associate Professor</p> <p><b>N. I. Morozova</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> | <p><b>F. A. Musaev</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>M. G. Ogly. Mustafayev</b> Doctor of Agrarian Sciences, Associate Professor</p> <p><b>A. I. Novak</b>, Doctor of Biological Science, Associate Professor</p> <p><b>M. D. Novak</b>, Doctor of Biological Science, Full Professor</p> <p><b>G. V. Olgarenko</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>E. N. Pravdina</b>, Candidate of Agricultural Science, Associate Professor</p> <p><b>G. K. Rembalovich</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor</p> <p><b>A. P. Savelyev</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor</p> <p><b>O. V. Savina</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>V. G. Semenov</b>, Doctor of Biological Science, Full Professor</p> <p><b>A. A. Solovyankin</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor</p> <p><b>O. I. Solovyeva</b>, Doctor of Agricultural Science, Associate Professor</p> <p><b>D. I. Udavliev</b>, Doctor of Biological Science, Full Professor</p> <p><b>I. A. Uspenskiy</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor</p> <p><b>R. N. Ushakov</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>G. N. Fadkin</b>, Candidate of Agricultural Science, Associate Professor</p> <p><b>O. A. Fedosova</b>, Candidate of Agricultural Science</p> <p><b>L. A. Khrabrova</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>M. N. Chatkin</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor,</p> <p><b>A. F. Shevkhezhev</b>, Doctor of Agricultural Science, Full Professor</p> <p><b>A. V. Shemyakin</b>, Doctor of Technical Science, Full Professor</p> <p><b>Y. K. Shogenov</b> Doctor of Technical Science, Senior Researcher, Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS)</p> <p><b>A. Yukhin</b>, Doctor of Technical Science, Associate Professor</p> |
|--|--|

Computer-Aided Makeup and Design – **N. V. Simonova**

Proof-Reader – **E. L. Malinina**

Translation – **V. V. Romanov, I. V. Chivileva**

Editorial address: 390044, Ryazan, Kostycheva str., 1., noom. 103.,  
tel: 8(4912)34-30-27, e-mail: vestnik@rgatu.ru  
Circulation 700. The first factory is 200. №1562 Order No. Date of  
publication  
Date of publication. 29.09.2023.

A record CMI PI № FS77-51956, registered by the Federal service for supervision in the spherical of communications, information technology and public communications on November 29, 2012  
Printed in the Publishing house of the RGATU. Address of the publishing house, printing house:  
Ryazan, Kostycheva str., 1., room 103. the price of the publication is 185 rubles. 50 kopecks. Subscription index of the publication in the katologue "Press of Russia" 82422

# Содержание

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

<b>Вафина Э. Ф., Ложкин М. А., Бабайцева Т. А., Мазунина Н. И., Мильчакова А. В.</b> Влияние десикации и сеникации на урожайность семян и ростовые процессы сортов озимой тритикале на ранних этапах онтогенеза	5
<b>Гусарова А.В., Сайтханов Э.О.</b> Влияние пищевой добавки «Глюконолактон E575 рокетт SG» на общеклинические показатели крови кроликов	13
<b>Лунева Н.А., Силютин М.С.</b> Дефекты, выявленные при ветеринарно-санитарной экспертизе продуктов убоя цыплят-бройлеров промышленного производства	23
<b>Павлов А.А.</b> Гуминовое удобрение как фактор влияния на ростовые процессы и формирование злако-бобовой травосмеси на дерново-подзолистой супесчаной почве	31
<b>Рудой Д.В., Пахомов В.И., Брагинец С.В., Мальцева Т.А., Саркисян Д.С.</b> Исследование содержания витаминов и минеральных веществ в зерне пшеницы на разных стадиях спелости	38
<b>Федотова А.С.</b> Хемилюминесцентные характеристики периферической крови при воздействии «in vitro» ионизирующего излучения в дозах 5 мГр, 50мГр и 500 мГр	45
<b>Хорошайло Т.А., Козубов А.С., Ким П.В.</b> Влияние условий содержания на выращивание теллят группы 0-3 в условиях учебно-опытного хозяйства	54
<b>Шевхужев А.Ф., Скорых Л.Н., Суховеева А.В.</b> Полиморфизмы гена GH и LEP, ассоциированные с признаками роста в популяции мясного скота калмыцкой породы	61
<b>Юхина Д.Э., Захарова О.А.</b> Молочная продуктивность джерсейских коров разных линий в зависимости от типа нервной деятельности	69

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Алдошин Н. В., Васильев А. С., Голубев В. В., Никифоров М. В., Эренкова С. В.</b> Оптимизация микрорельефа почвы при возделывании мелкосеменных культур	77
<b>Богданчиков И.Ю., Борычев С.Н., Дрожжин К.Н., Митрофанов С.В.</b> Результаты полевого опыта использования соломы в качестве удобрения	85
<b>Бызов В.А., Шилов В.В., Старовойтов В.И., Литвяк В.В.</b> Предпосылки создания технологии выращивания и переработки топинамбура, влияющей на степень полимеризации олисахаридов в клубнях	92
<b>Егорова, И. В., Безносюк Р.В., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Костенко Н.А.</b> Исследование влияния удаления ботвы на формирование прочностных свойств кожеры картофеля	104
<b>Короткий И.А., Расщепкин А.Н., Шеин С.Е.</b> Перспективы применения вакуумного охлаждения при первичной переработке и транспортировке молока	110
<b>Куминов Н.М., Рябчиков Д.С., Тимакина А.А., Чаткин М.Н., Лимаренко Н.В.</b> Оценка влияния технического состояния подвижного состава на расход топлива и коэффициент технической готовности	116
<b>Левина Т.А., Кушнир И.С., Глухих Я.М., Ключков А.Я.</b> К вопросу о влиянии параметров процесса на механические свойства 3D-печати FDM: комплексный обзор	123
<b>Неверов Е.Н., Короткий И.А., Ворошилин Р.А., Гринюк А.Н.</b> Определение продолжительности сублимации таблетированного диоксида углерода в условиях транспортировки	132
<b>Панчишкин А.П., Гапич, Д. С.</b> Оценка эффективности адаптации колесных тракторов к зональным условиям эксплуатации	141
<b>Успенский И.А., Гаджиев П.И., Гаджиев И.П., Рамазанова Г.Г.</b> Энергетический расчет сепарации пласта на элеваторе с интенсификатором картофелеуборочных машин	146
<b>Успенский И.А., Антоненко М.В., Лимаренко Н.В., Юхин И.А., Прибылов Д.О.</b> Перспективы исследования колебательных движений автомобиля, влияющих на сохранность плодоовощной продукции, перевозимой в контейнерах	154
<b>Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Жалнин А.А.</b> Определение параметров механизма регулирования катка комбинированного культиватора для дифференцированной обработки почвы	163
<b>Шемякин А.В., Фадеев И.В., Филюшин., Юхин И.А., Ильин В.В.</b> Влияние искрового зазора свечи зажигания на динамические параметры двигателя внутреннего сгорания	170
<b>Юмаев, Д.М., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Шемякин А.В., Борычев С.Н.</b> Теоретическое обоснование параметров сошника сеялки	178



## Content

### AGRICULTURAL SCIENCES

- Vafina E. F., Lozhkin M. A., Babaytseva T. A., Mazunina N. I., Milchakova A.V.** The effect of desiccation and senescence on seed yield and growth processes of winter triticale varieties at the early stages of ontogenesis 5
- Gusarova A.V., Sa'tkhanov E.O.** Influence of the preparation "Gluconolactone E575 Roquett SG" on general clinical indicators of the blood of rabbits products 13
- Lunyova N.A., Silyutin M.S.** Defects detected during veterinary and sanitary examination of slaughter products of commercial broiler chickens 23
- Pavlov A.A.** Humic fertilizer as a factor of influence on growth processes and the formation of a grain-legume grass mixture on sod-podzolic sandy loam soil 31
- Rudoy D.V., Pakhomov V.I., Braginets S.V., Maltseva T.A., Sarkisian D.S.** Study of the content of vitamins and minerals in wheat grain at different stages of ripeness 38
- Fedotova A.S.** Chemiluminescent characteristics of peripheral blood when exposed to "in vitro" ionizing radiation at doses of 5 mgy, 50 mgy and 500 mgy 45
- Khoroshailo T.A., Kozubov A.S., Kim P.V.** The influence of housing conditions on the rearing of calves of group 0–3 in the conditions of a training and experimental farm 54
- Shevkhezhev A.F., Skorykh L.N., Sukhoveeva A.V.** Polymorphisms of the GH and LEP genes associated with growth traits in the kalmyk beef cattle population 61
- Yukhina D.E., Zakharova O.A.** Milk productivity of Jersey cows of different lines depending on the type of nervous activity 69

### TECHNICAL SCIENCES

- Aldoshin N. V., Vasiliev A. S., Golubev V. V., Nikiforov M. V., Erenkova S. V.** Optimization of soil microrelief during cultivation of small-seed crops 77
- Bogdanchikov I.Yu., Borychev S.N., Drozhzhin K.N., Mitrofanov S.V.** Results of field experience in the use of straw as fertilizer 85
- Byzov V.A., Shilov V.V., Starovoitov V.I., Litvyak V.V.** Prerequisites for creating a technology for growing and processing Jerusalem artichoke, affecting the degree of polymerization of oligosaccharides in tubers 92
- Egorova, I. V., Beznosyuk R. V., Kostenko M. Yu., Rembalovich G. K., Kostenko N. A.** Study of the effect of haulm removal on the formation of the strength properties of the potato peel. 104
- Korotkiy I.A., Raschepkin A.N., Shein S.E.** Prospects for the application of vacuum cooling in primary milk processing and transportation 110
- Kuminov N.M., Ryabchikov D.S., Timakina A.A., Chatkin M. N., Limarenko N.V.** Assessment of the influence of technical condition of rolling stock on fuel consumption and technical readiness ratio 116
- Levina T.A., Kushnir I.S., Gluhikh Ya.M., Klochkov A.Ya.** On the influence of Process parameters on the mechanical properties of 3D printing FDM: a Comprehensive review 123
- Neverov E.N., Korotkiy I.A., Voroshilin R.A., Grinyuk A.N.** Determination of the duration of sublimation of tableted carbon dioxide under transportation conditions 132
- Panchishkin A. P., Gapich, D. S.** Evaluation of the efficiency of adaptation of wheeled tractors to zone operation conditions 141
- Uspenskiy I.A., Gadzhiev P.I., Gadzhiev I.P., Ramazanova G.G.** Energy calculation of formation separation at an elevator with an intensifier of potato harvesters 146
- Uspenskiy I.A., Antonenko M.V., Limarenko N.V., Yukhin I. A., Pribylov D.O.** Prospects for studying vehicle vibrations affecting the safety of fruit and vegetable products carried in containers 154
- Chatkin M. N., Fedorov S. E., Zhalnin A.A.** Determination of parameters of the control mechanism of the roller of a combined cultivator for differentiated tillage 163
- Shemyakin A. V., Fadeev I.V., Filyushin O.V., Yukhin I. A., Vitaly V. I.** Influence of the spark plug gap on the dynamic parameters of the internal combustion engine. 170
- Yumaev, D.M., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Shemyakin A.V., Borychev S.N.** Theoretical justification of parameters of the seeder coulter 178



# СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ



Вестник РГАТУ, 2023, т. 15, №3, с 5-13  
Vestnik RGATU, 2023, Vol.15, №3, pp 5-12

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК633.112.9«324»:631.5  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.20.11.002

### ВЛИЯНИЕ ДЕСИКАЦИИ И СЕНИКАЦИИ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕМЯН И РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ СОТОВ ОЗИМОЙ ТРИТИКАЛЕ НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА

Эльмира Фатхулловна Вафина <sup>1</sup>✉, Максим Алексеевич Ложкин <sup>2</sup>, Татьяна Андреевна Бабайцева <sup>3</sup>, Надежда Иллорьевна Мазунина <sup>4</sup>, Анна Владимировна Мильчакова <sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Удмуртский ГАУ, г. Ижевск, Россия

<sup>1</sup> vaf-ef@mail.ru

<sup>2</sup> maks-lozhkin-0410@yandex.ru

<sup>3</sup> taan62@mail.ru

<sup>4</sup> nadya.mazunina.67@mail.ru

<sup>5</sup> milannavl@mail.ru

#### Аннотация.

**Проблема и цель.** Цель настоящего исследования – выявить влияние десикации и сеникации посевов сортов озимой тритикале на урожайность и последствие данных приемов на параметры проростков семян в урожае.

**Методология.** В условиях Удмуртской Республики, географически относящейся к Среднему Предуралью, на дерново-среднеподзолистых среднесуглинистых почвах заложен полевой опыт с сортами озимой тритикале Ижевская 2 и Бета, посевы которых подвергали десикации препаратом Сухолей при влажности зерна 30 %, сеникации 20 % и 30 % растворами аммиачной селитры и сульфата аммония при влажности зерна 45 %.

**Результаты.** Годы исследований отличались по метеорологическим условиям, урожайность зерна сорта Ижевская 2 составила 1,97 т/га в 2021 г., 4,90 т/га в 2022 г., сорта Бета – 2,41 т/га и 5,59 т/га соответственно. В оба года периоды налива и созревания зерновки проходили при повышенной среднесуточной температуре воздуха и малом количестве осадков. При таких условиях урожайность зерна и семян сортов не изменялась в зависимости от десикации и сеникации посевов. Выявлено увеличение выхода семян на 1-2 % у обоих сортов при проведении сеникации растворами сульфата аммония. В разных абиотических условиях проявилась сортовая реакция проростков семян в урожае на последствие изучаемых обработок. На развитие подземных органов проростков большее влияние оказывала сеникация: у сорта Ижевская 2 увеличилось количество корешков при применении 30 % раствора сульфата аммония, у сорта Бета – длина корешков при использовании 20 % раствора аммиачной селитры. Последствие предуборочных обработок на развитие надземных органов проростков не имело четкой закономерности.

**Заключение.** Десикация и сеникация посевов не оказывали влияния на урожайность зерна и семян сортов озимой тритикале. Последствие данных приемов проявилось в увеличении количества и длины корешков у проростков семян в урожае.

**Ключевые слова:** десикация, сеникация, озимая тритикале, сорт, урожайность, выход семян, проростки.

**Для цитирования:** Вафина Э. Ф., Ложкин М. А., Бабайцева Т. А., Мазунина Н. И., Мильчакова



А. В. Влияние десикации и сеникации на урожайность семян и ростовые процессы сортов озимой тритикале на ранних этапах онтогенеза // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т 15, № 3, С.5-12 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.20.11.002>

Original article

## EFFECT OF DESICCATION AND SENICATION ON SEED YIELD AND THE GROWTH PROCESSES OF WINTER TRITICALE VARIETIES IN THE EARLY STAGES OF ON-TOGENESIS

Elmira F. Vafina<sup>1</sup>✉, Maxim A. Lozhkin<sup>2</sup>, Tatiana A. Babaytseva<sup>3</sup>, Nadezhda I. Mazunina<sup>4</sup>, Anna V. Milchakova<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Udmurt State University Izhevsk, Russia

<sup>1</sup> vaf-ef@mail.ru

<sup>2</sup> maks-lozhkin-0410@yandex.ru

<sup>3</sup> taan62@mail.ru

<sup>4</sup> nadya.mazunina.67@mail.ru

<sup>5</sup> milannavl@mail.ru

### Abstract.

**Problem and purpose.** The purpose of this study is to identify the effect of desiccation and senication of winter triticale crops on yield and the aftereffect of these techniques on the parameters of seed seedlings in the crop.

**Methodology.** In the conditions of the Udmurt Republic, geographically related to the Middle Urals, on sod-srednepodzolic medium loamy soils, a field experiment was laid with winter triticale varieties Izhevsk 2 and Beta, whose crops were desiccated with a dry preparation at a grain humidity of 30%, senication with 20% and 30% solutions of ammonium nitrate and ammonium sulfate at a grain humidity of 45%.

**Results.** The years of research differed in meteorological conditions, the yield of Izhevsk 2 grain was 1.97 t/ha in 2021, 4.90 t/ha in 2022, Beta varieties – 2.41 t/ha and 5.59 t/ha, respectively. In both years, the periods of filling and ripening of the grain were held at elevated average daily air temperature and low rainfall. Under such conditions, the yield of grain and seeds of varieties did not change depending on desiccation and senication of crops. An increase in seed yield by 1-2% was revealed in both varieties during senication with solutions of ammonium sulfate. In different abiotic conditions, the varietal reaction of seed seedlings in the crop to the aftereffect of the studied treatments was manifested. The development of underground organs of seedlings was more influenced by senication: in the Izhevsk 2 variety, the number of roots increased when using a 30% solution of ammonium sulfate, in the Beta variety, the length of the roots when using a 20% solution of ammonium nitrate. The aftereffect of pre-harvest treatments on the development of aboveground organs of seedlings did not have a clear pattern.

**Conclusion.** Desiccation and senication of crops did not affect the yield of grain and seeds of winter triticale varieties. The aftereffect of these techniques was manifested in an increase in the number and length of roots in seed seedlings in the crop.

**Key words:** desiccation, senication, winter triticale, variety, yield, seed yield, seedlings.

**For citation:** Vafina E. F., Lozhkin M. A., Babaytseva T. A., Mazunina N. I., Milchakova A.V. The effect of desiccation and senication on seed yield and growth processes of winter triticale varieties at the early stages of ontogenesis // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 3, P. 5-12 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.20.11.002>

### Введение

Озимая тритикале – одна из перспективных малораспространённых культур. Наряду с такими положительными свойствами, как высокая зимостойкость, устойчивость к заболеваниям, меньшая требовательность к почвам, экологическая пластичность, культура имеет ряд недостатков – склонность к полеганию, неравномерность созревания, прорастание зерна на корню, трудный обмолот [1]. Селекционная работа с культурой ведется довольно в широком масштабе, культура приобретает наряду с кормовым, продовольственное и техническое значение [2, 3]. В Удмуртской

Республике площади посева озимой тритикале невысоки, не более одной тысячи гектар при урожайности зерна 1,46-2,28 т/га. Потенциальная урожайность составляет 6,65 т/га [4]. В регионе в 1968 г. Е. В. Собенниковым было начато изучение и селекция озимой тритикале, работа продолжается и в настоящее время [5], выведен сорт Ижевская 2, оригинатор ведет его семеноводство. В связи с этим интересным и актуальным является изучение технологических приемов при возделывании культуры на семена, в частности приемов предуборочной обработки посевов. По Г. А. Карповой [6], использование экзогенных компонен-



тов воздействия создает объективную основу для практического регулирования ростовых процессов у сельскохозяйственных растений различными приемами агротехники. Исходя из изменений оводненности семян при их формировании в науке и практике сельскохозяйственного производства разработаны и внедрены такие агроприемы как десикация и сеникация. Десикация вызывает нарушение физиологических процессов в клетке, целостности клеточных стенок. У сеникации основное назначение – стимуляция аттракци-ассимилятов из вегетативных органов в зерновку [7, 8]. По данным З. Н. Галачаловой [9] под влиянием десикантов и сеникантов в большей степени теряют влагу стебли, меньше – листья и меньше всего – семена. Помимо прямого воздействия на формирующийся урожай в поле, применяемые обработки могут явиться основой для модификационной изменчивости семян в урожае. Модификации сохраняются лишь на протяжении жизни данного организма, то есть это – результат адаптивной реакции организма на изменяющиеся условия жизни, которые оказывают влияние на все признаки и свойства развивающегося организма [10]. В частности, это может быть модификационная изменчивость семян, проявляющаяся в морфометрических особенностях проростков [11].

#### Материалы и методы исследования

Полевые исследования по схеме двухфакторного опыта в 2020-2021 гг. заложили в УНПК «Агротехно-парк» (56°51'09" с. ш. 53°12'24" в. д.), Республика Удмуртия Воткинский район с. Июльское. По схеме опыта изучали сорта озимой тритикале Ижевская 2 (контроль) и Бета, посевы которых обрабатывали 20 % и 30 % растворами аммиачной селитры ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) и сульфата аммония ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) при влажности зерна 45 %, десикантом Суховой при влажности зерна 30 %. Расход рабочего раствора во всех вариантах 300 л/га, обработку проводили вручную при помощи ранцевого опрыскивателя «Жук классик». Сеникация проведена за 18-20 суток, десикация – за 3-5 суток до комбайновой уборки. Полная схема опыта приведена на рисунке 1. Исследования проведены согласно общепринятой в агрономии методике, учетная площадь делянки по фактору «Сорт» 150 м<sup>2</sup>, по фактору «Обработка» – 25 м<sup>2</sup>, повторность вариантов опыта по каждому фактору четырехкратная. Выход семян из урожая определяли после пропуска высушенного зерна на лабораторной сортировке К-294А (Petkus) просеиванием зерна с делянки через сита с размером ячеек 2,2 × 20 мм, урожайность семян – расчетным методом с учетом их выхода. Последствия изучаемых приемов на развитие проростков определяли спустя три месяца после комбайновой уборки при их проращивании в рулонах в течение 5 суток в соответствии с методикой Государственной семенной инспекции. Опыт заложен на типичной для региона дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве средней степени окультуренности. Технология возделывания культуры в опыте – согласно зональным рекомендациям. Предшественник – яровой рапс, убранный на зеленый корм за

месяц до посева. После уборки предшественника – дискование, через две недели – культивация с боронованием, затем предпосевная культивация. Посев селекционной сеялкой СС-11 Альфа обычным рядовым способом с нормой высева 5 млн шт. всхожих семян на 1 га. Весной после начала отрастания проводили подкормку аммиачной селитрой нормой 1 ц/га в фзическом весе. Делянки убирали в конце восковой спелости зерна однофазным способом комбайном TerrionSR-2010.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Условия для роста и развития растений озимой тритикале в весенне-летний период отличались по годам исследований. 2021 г. был более сухой и жаркий, большее количество осадков при относительно невысокой температуре воздуха наблюдали только от возобновления вегетации до выхода в трубку. В последующие фазы осадков выпало незначительно, ГТК был на уровне 0,30-0,70. В период от молочного состояния зерна (срок проведения сеникации) до начала восковой спелости (срок проведения десикации) растений среднеспелого сорта Бета выпало 23 мм осадков при среднесуточной температуре воздуха 24,8° С. Сорт Ижевская 2 относится к группе среднепоздних, в связи с чем отмеченный период развития его растения проходили при меньшем количестве осадков 10,4 мм и более высокой (24,8°С) среднесуточной температуре воздуха (рис.1).

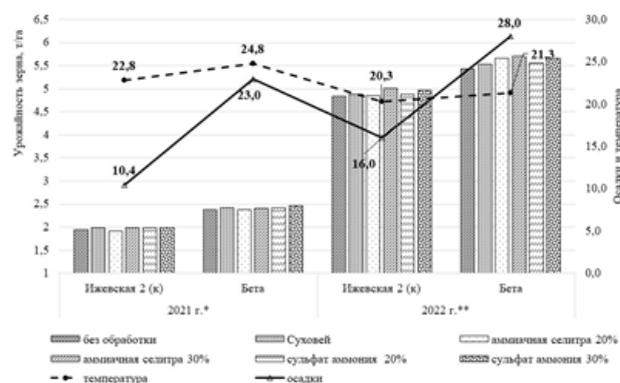


Рис. 1 – Урожайность зерна, сумма осадков и среднесуточная температура воздуха за период молочное состояние зерна–начало восковой спелости зерна.

Fig. 1 – Grain yield, precipitation amount and average daily air temperature for the period the milk state of the grain – the beginning of the wax ripeness of the grain.

\* - различия между сортами существенны на 5 %-ом уровне значимости

(НСР<sub>05</sub> главных эффектов 0,13 т/га в 2021 г., 0,32 т/га в 2022 г.)

В таких метеорологических условиях запланированные по схеме опыта предуборочные обработки посевов не оказывали влияния на урожайность зерна. Выявлено, что сорт Бета в среднем по вариантам опыта сформировал урожайность зерна 2,41 т/га, у сорта Ижевская 2 получена урожайность 1,97 т/га. Условия первой половины вегетации в 2022 г. были более благоприятны



для роста и развития растений сортов озимой тритикале, ГТК от начала весеннего отрастания до фазы колошения составил 1,52-2,97. После цветения наблюдали повышение температуры воздуха и уменьшение выпадающих осадков. В период проведения сеникации, а затем и десикации посевов ГТК для растений сорта Бета имел значение 1,19, для сорта Ижевская 2 данный показатель – 0,45. В абиотических условиях вегетационного периода 2022 г. по сорту Бета получена урожайность зерна 5,59 т/га, что на 0,69 т/га больше аналогичного показателя сорта Ижевская 2. Проведение сеникации и десикации не оказывало влияния на урожайность зерна. При возделывании на семенные цели важным является выход семян и семенная продуктивность. В условиях 2021 и 2022 г. исследованный сорт Бета имел больший выход семян – 89 и 99 % соответственно, что обусловлено большей массой 1000 зерен данного сорта (рис. 2-3).

В 2021 г. сеникация посевов сорта Ижевская 2 раствором аммиачной селитры (30 %), растворами сульфата аммония увеличивала выход семян на 1-2 % в сравнении с выходом семян в контрольном варианте. На посевах сорта Бета положительное влияние на выход семян оказала десикация, а также сеникация растворами сульфата аммония.

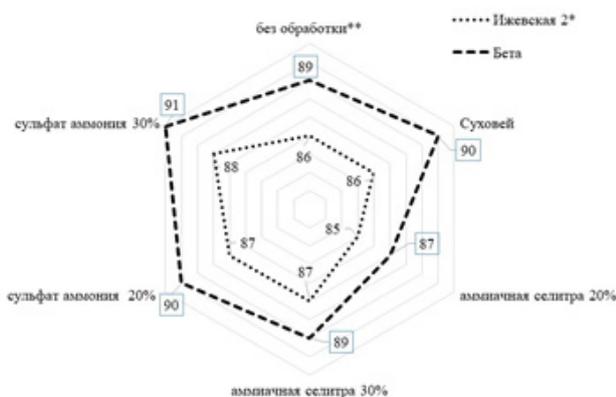


Рис.2 – Выход семян сортов озимой тритикале при проведении сеникации и десикации, %. 2021г.

Fig. 2 – Yield of seeds of winter triticale varieties during senescation and desiccation, %. 2021.

\* - различия между сортами существенны на 5 %-ом уровне значимости (НСР<sub>05</sub> главных эффектов 1 %)

\*\* - различия между обработками существенны на 5 %-ом уровне значимости (НСР<sub>05</sub> частных различий 1 %)

В условиях 2022 г. наименьший выход семян 95 % на посевах сорта Ижевская 2 выявлен в варианте с десикацией Суховей. В сравнении с ним все остальные варианты обеспечили более высокий выход семян 96-97 %. При сопоставлении выхода семян в контроле и выхода семян в изучаемых вариантах не выявлено положительного влияния обработок посевов на данный показатель. У сорта Бета все изучаемые варианты, кроме варианта с сеникацией 20 % раствором аммиачной селитры, способствовали увеличению выхода семян на

1 %. Нужно отметить, что коэффициент вариации выхода семян в оба года был незначительным (V=0,4-1,5 %). Что связано, вероятно, с нивелированием влияния предуборочной обработки на формирование зерновки в сложившихся абиотических условиях.

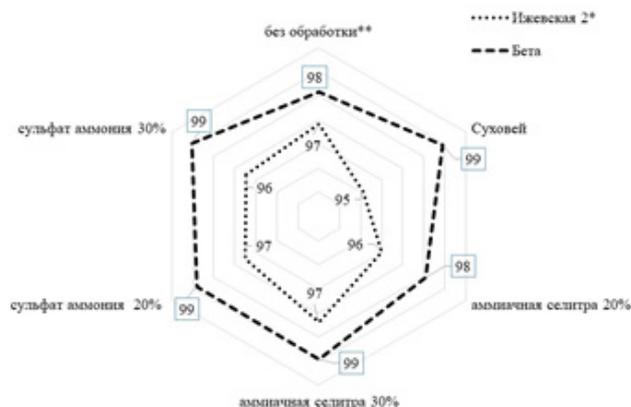


Рис. 3 – Выход семян сортов озимой тритикале при проведении сеникации и десикации, %. 2022 г.

Fig. 3 – Yield of seeds of winter triticale varieties during senescation and desiccation, %. 2022.

\* - различия между сортами существенны на 5 %-ом уровне значимости (НСР<sub>05</sub> главных эффектов 1 %)

\*\* - различия между обработками существенны на 5 %-ом уровне значимости (НСР<sub>05</sub> частных различий 1 %)

Урожайность семян в 2021 г. варьировала от 1,63 т/га до 1,74 т/га у сорта Ижевская 2, от 2,07 т/га до 2,24 т/га у сорта Бета, при коэффициенте вариации по обоим сортам 2,4-2,8 %. В 2022 г. также отмечено незначительное варьирование признака по вариантам опыта при коэффициенте вариации 2,0-2,1 %. В оба года исследований выявлены существенные различия только по фактору «Сорт», у сорта Бета урожайность семян на 0,79 т/га превышала урожайность семян сорта Ижевская 2 (рис. 4). Десикация и сеникация не оказывали влияния на изменение урожайности семян.

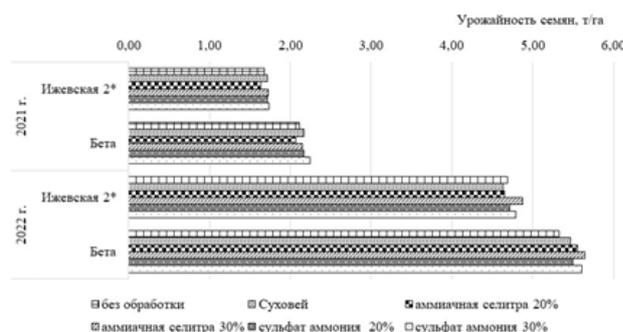


Рис. 4– Урожайность семян сортов озимой тритикале при проведении сеникации и десикации, т/га.

Fig. 4– Yield of seeds of winter triticale varieties during senescation and desiccation, t/ha.

\* - различия между сортами существенны на 5 %-ом уровне значимости



Как известно, сельскохозяйственные культуры обладают большим полиморфизмом, подвержены значительной изменчивости под влиянием условий внешней среды [10]. В ходе воздействия модифицирующего действия среды у растений могут формироваться заметные изменения различных признаков – модификации, которые представляют собой изменения фенотипа, вызванные влиянием окружающей среды и не связанные с изменениями генотипа. По Г. А. Демиденко [11], «в морфометрических особенностях проростков сортовых семян отражаются их свойства, которые сформированы в результате реакции генотипа на агроэкологические условия онтогенеза».

В наших исследованиях выявлены сортовые отличия (рассматриваемые как реакция генотипа) в формировании органов проростков семян из урожая, полученного в результате проведения десикации и сеникации. Сорты отличались по количеству первичных корешков – в первый год исследования преимущество имел сорт Ижевская 2, во второй год – сорт Бета (рис. 5).

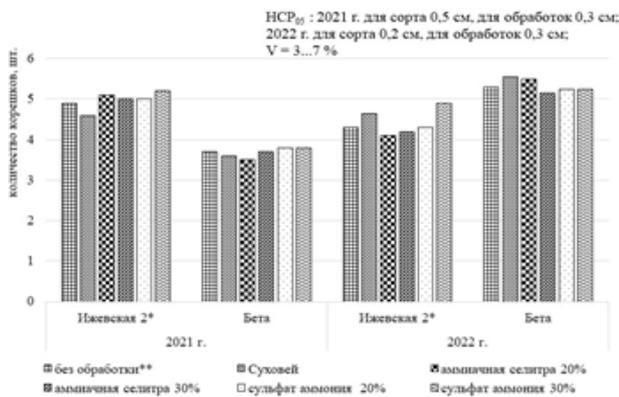


Рис. 5 – Количество корешков у проростков сортов озимой тритикале в зависимости от последствия сеникации и десикации, шт.

Fig. 5 – The number of roots in seedlings of winter triticale varieties, depending on the aftereffect of senescation and desiccation, pcs.

\* - различия между сортами существенны на 5 %-ом уровне значимости

\*\* - различия между обработками существенны на 5 %-ом уровне значимости

Сорта также поразному реагировали на обработку посевов. Так, в 2021 г. проростки сорта Ижевская 2 имели наименьшее количество корешков 4,6 шт. в варианте с десикацией, наибольшее их количество выявлено после сеникации 30 % раствором сульфата аммония. У сорта Бета проростки в изучаемых вариантах существенно не отличались от контрольного варианта по количеству корешков, но при сравнении вариантов с сеникацией выявлено положительное влияние растворов сульфата аммония относительно сеникации 20 % раствором аммиачной селитры. В 2022 г. у сорта Ижевская 2 большим количеством корешков 4,7–4,9 шт. характеризовались проростки, сформировавшиеся после проведения десикации

и сеникации 30 % раствором сульфата аммония, у сорта Бета (5,6 шт.) – после проведения десикации. Варьирование данного показателя было незначительным – 4 % (Ижевская 2) и 3 % (Бета) в 2021 г., 7 % и 3 % соответственно в 2022 г.

Изменения длины корешков по вариантам обработки посевов отличалось в годы исследований (рис. 6). В 2021 г. большую длину формировали проростки сорта Бета (в среднем по вариантам опыта 15,5 см), в 2022 г. проростки сортов не отличались по данному показателю. Варьирование длины корешков имело большие значения, достигая средних характеристик по сорту Ижевская 2 в 2022 г. Такое варьирование обусловлено увеличением длины корешков при применении азотных удобрений в 2021 г. и отсутствием данного влияния в 2022 г. Подобная неоднозначная реакция проростков сортов озимой пшеницы на применение разных форм азотных удобрений выявлена в исследованиях Г. А. Демиденко [11].

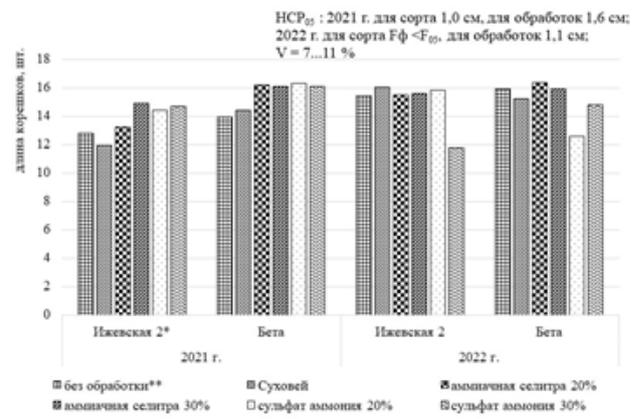


Рис. 6 – Длина корешков у проростков сортов озимой тритикале в зависимости от последствия сеникации и десикации, см.

Fig. 6 – The length of roots in seedlings of winter triticale varieties, depending on the aftereffect of senescation and desiccation, cm.

\* - различия между сортами существенны на 5 %-ом уровне значимости (в 2021 г.)

\*\* - различия между обработками существенны на 5 %-ом уровне значимости

Большую длину coleoptile и ростка в оба года исследования имели проростки сорта Ижевская 2 (рис. 7, 8). На развитие органов надземной части последствие изучаемых обработок в более засушливом 2021 г. не проявилось. В условиях 2022 г. положительное влияние на длину coleoptile обоих сортов выявлено в вариантах последствия десикации и сеникации сульфатом аммония в концентрации 30 %.

Длина ростка семян Ижевской 2 из урожая 2022 г. в контроле и в большинстве вариантов обработок была на одном уровне, исключение – вариант с сеникацией 30 % раствором сульфата аммония, в котором проростки имели наименьшую длину 10,3 см. У сорта Бета, наоборот, проявилось положительное последствие десикации и сеникации



(исключение 30 % раствор сульфата аммония) на длину ростка. Варьирование длины надземных органов в зависимости от обработок посевов характеризовалось как незначительное – от 2 % до 7 %.

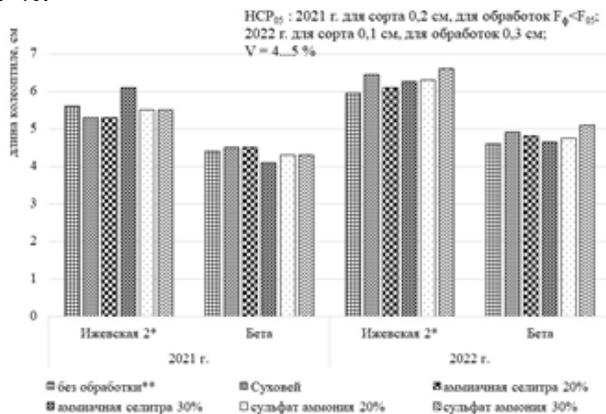


Рис. 7 – Длина coleoptиле у проростков сортов озимой тритикале в зависимости от последствие сеникации и десикации, см.

Fig. 7 – Coleoptile length in seedlings of winter triticale varieties depending on the aftereffect of senication and desiccation, cm.

\* - различия между сортами существенны на 5 %-ом уровне значимости

\*\* - различия между обработками существенны на 5 %-ом уровне значимости (в 2022 г.)

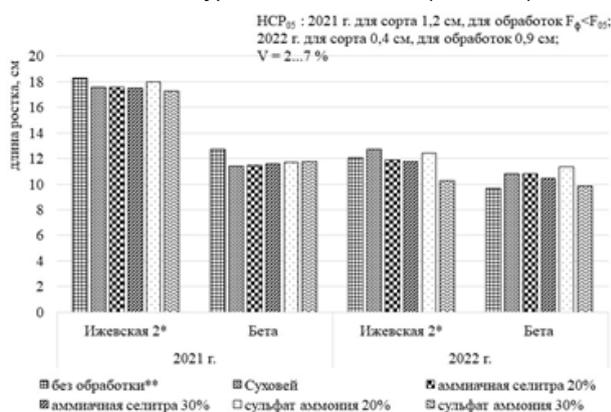


Рис. 8 – Длина ростка у проростков сортов озимой тритикале в зависимости от последствие сеникации и десикации, см.

Fig. 8 – The length of the sprout in seedlings of winter triticale varieties, depending on the aftereffect of senication and desiccation, sm.

\* - различия между сортами существенны на 5 %-ом уровне значимости

\*\* - различия между обработками существенны на 5 %-ом уровне значимости (в 2022 г.)

### Заключение

1. В условиях сухой и жаркой погоды десикация и сеникация посевов озимой тритикале по влиянию на полученную урожайность зерна не были эффективными, различия по вариантам опыта не существенны. Сорт Бета по урожайности превосходил сорт Ижевская 2 на 0,45–0,69 т/га.

2. Большой на 1-2 % выход семян, проведенный в лабораторных условиях, у обоих сортов выявлен при проведении сеникации растворами сульфата аммония, при этом урожайность семян озимой тритикале не имела изменений при проведении предуборочных обработок.

3. На развитие подземных и надземных органов проростков сортов озимой тритикале последствие десикации и сеникации было неоднозначным в годы проведения исследований. Проростки сорта Ижевская 2 в оба года положительно реагировали увеличением числа корешков (на 0,3-0,6 шт.) на проведенную сеникацию 30 % раствором сульфата аммония, проростки сорта Бета – увеличением длины корешков (на 3,4 см, или на 25 %) на сеникацию 20 % раствором аммиачной селитры.

4. В менее влагообеспеченный год у проростков обоих сортов не выявлено изменений длины coleoptиле и ростка в зависимости от предуборочной обработки посевов. В относительно более благоприятном году проростки семян в урожае положительно реагировали на десикацию и сеникацию 30 % раствором сульфата аммония.

### Список источников

1. Характеристика биологического потенциала сортов озимого тритикале / Е. А. Гординская, А. В. Крохмаль, А. И. Грабовец [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 2(38). – С. 158-164. DOI 10.24412/2309-348X-2021-2-158-164.

2. Грабовец, А. И. Тритикале: монография / А. И. Грабовец, А. В. Крохмаль. – Ростов-на-Дону: Обще-ство с ограниченной ответственностью "Издательство "Юг", 2019. – 440 с. – ISBN: 978-5-91911-012-5.

3. Бадамшина, Е.В. Целевое использование продуктов переработки зерна тритикале / Е. В. Бадамшина // Сб.: Тритикале: Материалы заседания секции тритикале ОСХН он-лайн: «Тритикале. Селекция, ге-нетика, агротехника и технологии переработки сырья». – Ростов-на-Дону, 2021. – С. 200-210. DOI:10.34924/FRARC.2020.93.52.001.

4. Вафина, Э.Ф. Программирование урожайности зерна озимой тритикале в условиях Удмуртской Республики / Э. Ф. Вафина // Сб.: Современные достижения селекции растений – производству: Материалы Национальной научно-практической конференции. – Ижевск, 2021. – С. 54–59. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46535247>.

5. Бабайцева, Т. А. Оценка исходного материала для селекции озимой тритикале в Среднем Предурале: монография / Т. А. Бабайцева, Т. В. Гамберова. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. – 155 с. – ISBN 978-5-9620-0321-4.

6. Карпова, Г.А. Активизация ранних ростовых процессов зерновых культур при использовании регуляторов роста / Г. А. Карпова // Нива Поволжья. – 2016. – № 1(38). – С. 13-23. DOI10.21685/2307-9150-2020-4-2.

7. Регуляция оттока ассимилятов в зерновки для повышения продуктивности посевов риса (*Oryza sativa* L.) при выращивании у северной границы ареала культуры / А. Х. Шеуджен, Т. Н.



Бондарева, П. Н. Харченко [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – № 3. – С. 512-527. DOI 10.15389/agrobiology.2019.3.512rus.

8. Quantification of soybean leaf senescence and maturation as impacted by soil- and foliar-applied nitrogen / J. C. Craft, L. E. Lindsey, D. J. Barker [et al.]. // Crop, Forage & Turfgrass Management. – 2019. – № 5. – Pp. 180051. DOI:10.2134/cftm2018.07.0051.

9. Галачалова, З. Н. Физиолого-биохимическое обоснование метода ускорения созревания и повышения качества зерна пшеницы / З. Н. Галачалова, В. В. Кунгурцева // Физиолого-биохимические проблемы семеноведения и семеноводства.

– Иркутск: АН СССР, Сибирское отделение, 1973. – Часть 1. – С. 53-57.

10. Зиновьев, С. В. Модификационная изменчивость яровой пшеницы // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс / С. В. Зиновьев, А. А. Блинохватов. – 2013. – Т. 2. – № 9(13). – С. 31-34. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20433990>.

11. Демиденко, Г. А. Морфометрические особенности проростков семян разных сортов яровой пшеницы при использовании азотных удобрений / Г. А. Демиденко // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 6(159). – С. 20-27. DOI 10.36718/1819-4036-2020-6-20-27.

#### Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### References

1. Kharakteristika biologicheskogo potentsiala sortovozimogo triticale / E. A. Gordinskaya, A. V. Krokhal', A. I. Grabovets. [i dr.] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. – 2021. – №2(38). – S. 158-164. DOI:10.24412/2309-348X-2021-2-158-164.

2. Grabovets, A. I. Triticale: monografiya / A. I. Grabovets, A. V. Krokhal'. – Rostov-na-Donu: Obshchestvo-sogranichennoy otvetstvennost'yu "Izdatel'stvo "Yug", 2019. – 440 s. ISBN: 978-5-91911-012-5.

3. Badamshina, E. V. Tselevoe ispol'zovanie produktov pererabotki zerna triticale / E. V. Badamshina // Sb.: Triticale: materialy zasedaniya seksii triticale OSKhN on-lain: «Triticale. Seleksiya, genetika, agrotehnika i tekhnologii pererabotki syr'ya». – Rostov-na-Donu, 2021. – S. 200-210. DOI:10.34924/FRARC.2020.93.52.001.

4. Vafina, E. F. Programirovaniye urozhnosti zerna ozimoi tritikale v usloviyakh Udmurtskoi Respubliki / E. F. Vafina // Sb.: Sovremennyye dostizheniya seleksii rastenii – proizvodstvu: Materialy Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferentsii Izhevsk, 2021. – S. 54–59. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46535247>.

5. Babaitseva, T. A. Otsenka iskhodnogo materiala dlya seleksii ozimoi triticale v Srednem Predural'e: mono-grafiya / T. A. Babaitseva, T. V. Gamberova. – Izhevsk: FGBOUVO Izhevskaya GSKhA, 2018. – 155 s. – ISBN 978-5-9620-0321-4.

6. Karpova, G. A. Aktivizatsiya rannikh Rostovyykh protsessov zernovykh kul'tur pri ispol'zovanii regul'yatorov rosta / G. A. Karpova // Niva Povolzh'ya. – 2016. – № 1(38). – S. 13-23. DOI:10.21685/2307-9150-2020-4-2.

7. Regul'yatsiya ottoka assimilyatov v zernovki dlya povysheniya produktivnosti posevov risa (*Oryza sativa* L.) privyrashchi-vanii u severnoi granitsyarealakul'tury / A. Kh. Sheudzhen, T. N. Bondareva, P. N. Kharchenko [i dr.] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. – 2019. – № 3. – S. 512-527. DOI 10.15389/agrobiology.2019.3.512rus.

8. Quantification of soybean leaf senescence and maturation as impacted by soil- and foliar-applied nitrogen / J. C. Craft, L. E. Lindsey, D. J. Barker [et al.]. // Crop, Forage & Turfgrass Management. – 2019. – № 5. – Pp. 180051. DOI:10.2134/cftm2018.07.0051.

9. Galachalova, Z. N. Fiziologo-biokhimicheskoe obosnovaniye metoda uskoreniya sozrevaniya i povysheniya kachestva zerna pshenitsy / Z. N. Galachalova, V. V. Kungurtseva // Fiziologo-biokhimicheskie problem seменоведения i semenovodstva. – Irkutsk: AN SSSR, Sibirskoye otdeleniye, 1973. – Chast' 1. – S. 53-57.

10. Zinov'ev, S. V. Modifikatsionnaya izmenchivost' yarovoipshenitsy / S. V. Zinov'ev, A. A. Blinokhvatov // XXI vek: itogi proshlogoi problem nastoyashchego plyus. – 2013. – Т. 2. – № 9(13). – S. 31-34. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20433990>.

11. Demidenko, G. A. Morfometricheskie osobennosti prorostkov semyan raznykh sortovyarovoi pshenitsy pri ispol'zovanii azotnykh udobrenii / G. A. Demidenko // VestnikKrasGAU. – 2020. – № 6(159). – S. 20-27. DOI 10.36718/1819-4036-2020-6-20-27.

#### Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### Информация об авторах

**Вафина Эльмира Фатхулловна**, д-р с.-х. наук, доцент, зав. кафедрой растениеводства, земледелия и селекции, Удмуртский ГАУ, [vaf-ef@mail.ru](mailto:vaf-ef@mail.ru)

**Ложкин Максим Алексеевич**, аспирант кафедры растениеводства, земледелия и селекции, Удмуртский ГАУ, [maks-lozhkin-0410@yandex.ru](mailto:maks-lozhkin-0410@yandex.ru)

**Бабайцева Татьяна Андреевна**, д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры растениеводства, земледелия и селекции, Удмуртский ГАУ, [taan62@mail.ru](mailto:taan62@mail.ru)

**Мазунина Надежда Иллорьевна**, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры растениеводства,



земледелия и селекции, Удмуртский ГАУ, [nadya.mazunina.67@mail.ru](mailto:nadya.mazunina.67@mail.ru)

**Мильчакова Анна Владимировна**, канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры растениеводства, земледелия и селекции, Удмуртский ГАУ, [milannavl@mail.ru](mailto:milannavl@mail.ru)

#### **Author information**

**Vafina Elmira F.**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Plant Growing, Agriculture and Breeding, Udmurt State University

**Lozhkin Maxim A.**, postgraduate student of the Department of Plant Growing, Agriculture and Breeding, Udmurt State University

**Babaytseva Tatiana A.**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Plant Growing, Agriculture and Breeding, Udmurt State University

**Nadezhda Mazunina I.**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Growing, Agriculture and Breeding, Udmurt State University

**Milchakova Anna V.**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Growing, Agriculture and Breeding, Udmurt State University

Статья поступила в редакцию 24.08.2023; одобрена после рецензирования 04.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 24.08.2023; approved after reviewing 04.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 636.033  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.59.43.003**ВЛИЯНИЕ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ «ГЛЮКОНОЛАКТОН E575 РОКЕТТ SG»  
НА ОБЩЕКЛИНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КРОЛИКОВ****Ангелина Владимировна Гусарова<sup>1</sup>✉, Эльман Олегович Сайтханов<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева,  
г. Рязань, Россия<sup>1</sup> linoshca@yandex.ru<sup>2</sup> elmanrzn@gmail.com**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Одной из причин возникновения заболеваний животных, нарушений роста и развития, а также причин, приводящих к летальному исходу животных, является дисбаланс кормовых рационов. Ввиду этого, применение антиоксидантов в качестве биологически активных добавок к привычному для животных рациону, при стимуляции роста, развития и повышения общей резистентности организма, является актуальным и перспективным направлением исследований не только в кролиководстве, но и в животноводстве в целом [7]. Целью исследований является теоретическая и практическая оценки влияния пищевой добавки на основе глюконолактона, используемой в рационе кроликов, на обменные и физиологические показатели.

**Методология.** Объектом исследования являлась пищевая добавка «Глюконолактон E575 Рокетт SG». Оценку эффективности проводили путем контроля гематологических показателей крови. Для эксперимента были отобраны кролики породы шиншилла в возрасте 1 месяца. Кролики, отобранные для постановки опыта, содержались одиночно в клетках, которые, в свою очередь, были объединены в шеды. Опытный период составил 3 месяца. Исследования были проведены в условиях частной кролиководческой фермы Рязанской области в с.Зубенки Рязанского района. Для изучения общеклинических показателей крови кроликов в сформированных группах проводили лабораторные исследования в условиях ветеринарной лаборатории «9 жизней» (ООО «Ветеринарная медицина») г. Рязань, РФ. Отбор крови для проведения анализов проводился 1 раз в 2 недели из ушной вены.

**Результаты.** Полученные результаты позволили сделать вывод, что в период применения «Глюконолактон E575 Рокетт SG» показатели крови у животных опытной группы на конечном этапе эксперимента остались практически на том же уровне, что и показатели начального этапа, в то время как у кроликов контрольной группы наблюдалась негативная динамика некоторых показателей крови. При оценке данных за период с 46-го по 90-й дни исследования у кроликов группы биологического контроля отмечено снижение эритроцитов (на 35,1 и 31,8 % ниже, чем у подопытных кроликов), повышение лейкоцитов (на 75-е и 90-е сутки в 2,6 и 2,7 раза, соответственно), выходящие за пределы физиологической нормы. В свою очередь, у кроликов опытной группы количество лейкоцитов и эритроцитов находилось в пределах физиологической нормы, значительных колебаний мы не наблюдали. В связи с тем, что гематологические показатели кроликов в опытной группе оставались в пределах нормы на протяжении всего времени проведения эксперимента при аналогичных условиях кормления и содержания кроликов обеих групп, можно предположить, что вводимая нами биологически активная добавка оказывала стимулирующее действие, что может быть связано с ее антиоксидантной активностью.

**Заключение.** Введение в рацион кроликов опытной группы препарата «Глюконолактон E575 Рокетт SG», обладающего свойством связывать и нейтрализовать продукты окисления непосредственно в крови животных, позволило повысить устойчивость организмов кроликов и оказало положительное общеукрепляющее действие. В результате исследований нами был зафиксирован положительный эффект применения препарата «Глюконолактон E575 Рокетт SG», выражающийся в поддержании общеклинических показателей крови на нормальном физиологическом уровне. Негативного действия «Глюконолактон E575 Рокетт SG» на гематологические показатели крови не выявлено.

**Ключевые слова:** глюконолактон, антиоксиданты, кролики, гематологические показатели крови

**Для цитирования:** Гусарова А.В., Сайтханов Э.О. Влияние пищевой добавки «Глюконолактон E575 рокетт SG» на общеклинические показатели крови кроликов // Вестник Рязанского государ-



Original article

**INFLUENCE OF THE PREPARATION "GLUCONOLACTONE E575 ROQUETT SG" ON GENERAL CLINICAL INDICATORS OF THE BLOOD OF RABBITS**Angelina V. Gusarova <sup>1</sup>✉, Elman O. Sa'tkhanov <sup>2</sup><sup>1,2</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia<sup>1</sup> [linoshca@yandex.ru](mailto:linoshca@yandex.ru)<sup>2</sup> [elmanrzn@gmail.com](mailto:elmanrzn@gmail.com)**Annotation.**

**Problem and purpose.** One of the causes of animal diseases, growth and development disorders, as well as the causes leading to the death of animals, is the imbalance of feed rations. In view of this, the use of antioxidants as biologically active additives to the diet habitual for animals, while stimulating growth, development and increasing the overall resistance of the organism, is an urgent and promising area of research not only in rabbit breeding, but also in animal husbandry in general [7]. The aim of the research is a theoretical and practical assessment of the effect of gluconolactone used in the diet of rabbits on metabolic and physiological parameters in the shed content.

**Methodology.** The object of the study was the food supplement "Gluconolactone E575 Rockett SG". Efficacy was evaluated by monitoring hematological blood parameters. Chinchilla rabbits at the age of 1 month were selected for the experiment. The rabbits selected for the experiment were kept singly in cages, which, in turn, were combined into sheds. The experimental period was 3 months. The studies were carried out in a private rabbit farm in the Ryazan region in the village. Zubenki, Ryazan region. To study the general clinical parameters of the blood of rabbits in the formed groups, laboratory studies were carried out in the conditions of the 9 lives veterinary laboratory (LLC Veterinary Medicine), Ryazan, Russia. Blood sampling for analysis was carried out once every 2 weeks from the ear vein.

**Results.** The results obtained led to the conclusion that during the period of application of "Gluconolactone E575 Rockett SG" blood parameters in animals of the experimental group at the final stage of the experiment remained almost at the same level as those of the initial stage, while negative dynamics was observed in rabbits of the control group. some blood parameters. When evaluating the data for the period from the 46th to the 90th days of the study, the rabbits of the biological control group showed a decrease in erythrocytes (by 35.1 and 31.8% lower than in the experimental rabbits), an increase in leukocytes (by 75 and 90 day, 2.6 and 2.7 times, respectively), which are beyond the physiological norm. In turn, in rabbits of the experimental group, the number of leukocytes and erythrocytes was within the physiological norm, we did not observe significant fluctuations. Due to the fact that the hematological parameters of the rabbits in the experimental group remained within the normal range throughout the entire duration of the experiment under similar conditions of feeding and keeping the rabbits of both groups, it can be assumed that the biologically active additive introduced by us had a stimulating effect, which may be due to its antioxidant activity.

**Conclusion.** The introduction of the preparation "Gluconolactone E575 Rockett SG" into the diet of rabbits of the experimental group, which has the ability to bind and neutralize oxidation products directly in the blood of animals, made it possible to increase the resistance of rabbit organisms and had a positive general strengthening effect. As a result of the research, we have recorded a positive effect of the use of the drug "Gluconolactone E575 Rockett SG" expressed in maintaining general clinical blood counts at a normal physiological level. The negative effect of "Gluconolactone E575 Rockett SG" on hematological blood parameters has not been identified.

**Key words:** gluconolactone, antioxidants, rabbits, hematological blood parameters

**For citation:** Gusarova A.V., Sa'tkhanov E.O. Influence of the preparation "Gluconolactone E575 Roquett SG" on general clinical indicators of the blood of rabbits products // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 3, P. 13-21 [https://doi.org/ 10.36508/RSATU.2023.59.43.003](https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.59.43.003)

**Введение**

На сегодняшний день кролиководство является одной из наиболее перспективных и востребованных отраслей животноводства. Высокое содержание белка, низкое содержание холестерина и хорошая усвояемость мяса кроликов позволяют использовать его в качестве продукта диетического питания для людей всех возрастных групп с

различными заболеваниями [8].

Дополнительно известно, что продуктивные показатели кроликов и качество выходящей продукции напрямую зависят от полноценного и сбалансированного кормления. При этом важным моментом при кормлении кроликов является не только правильное сочетание кормовых компонентов, но и режим кормления [6].



Одной из причин возникновения заболеваний животных, нарушений роста и развития, а также причин, приводящих к летальному исходу животных, является дисбаланс кормовых рационов. Ввиду этого, применение антиоксидантов в качестве биологически активных добавок к привычному для животных рациону, при стимуляции роста, развития и повышения общей резистентности организма, является актуальным и перспективным направлением исследований не только в кролиководстве, но и в животноводстве в целом [7].

«Глюконолактон E575 Рокетт SG» является продуктом компании Roquette. Согласно паспорту безопасности добавка содержит не менее 99 % D-Glucono-1,5-lactone, не обладает токсическим действием при пероральном введении лабораторным крысам дозы более 2000 мг/кг, не оказывает местно-раздражающего действия (при оценке методом накожных аппликаций на кроликах), не обладает аллергизирующим действием (изучено на лабораторных мышах). При длительном пероральном введении крысам (90 дней) никаких эффектов, связанных с введением добавки, не отмечено.

Основной активный компонент объекта наших исследований – D-Glucono-1,5-lactone. Данное соединение химически активно, является полигидроксикислотой (РНА), которую получают в результате окисления глюкозы (натурального сахара, который находится, в том числе, в живом организме), имеет много общего с группой альфа-гидроксикислот, но отличается значительно большим размером молекулы. Размерные и структурные особенности молекулы определяют его более мягкое воздействие и хорошую переносимость. По своему химическому строению изучаемая нами добавка является альфагидроксикислотой, имеет в молекуле пять гидроксильных групп, что отличает ее от остальных соединений данной группы (имеющих только одну активную гидроксигруппу). Глюконолактон хорошо растворяется в воде и глицерине. Добавка обладает антиоксидантным действием. Глюконолактон является одной из наиболее распространенных РНА (полигидроксикислот) в современной медицине. Он действует подобно АНА и ВНА (например, гликолевой, молочной и салициловой кислотам). Основное отличие состоит в том, что глюконолактон имеет большой размер молекулы, поэтому он гораздо мягче, чем вышеуказанные кислоты, также являющиеся антиоксидантами [9].

Существует множество исследований, подтверждающих эффективность применения антиоксидантов в кормовых рационах животных, в том числе и кроликов [8]. Однако необходимо учитывать, что выбор и дозировка антиоксидантов должны быть оптимальными, чтобы не нанести вреда здоровью животных и не ухудшить качество получаемой мясной продукции [4].

Целью исследований является теоретическая и практическая оценки влияния пищевой добавки на основе глюконолактона, используемой в рацио-

не кроликов, на обменные и физиологические показатели.

Задачи исследования:

1. Изучить влияние добавки «Глюконолактон E575 Рокетт SG» на общее клиническое состояние организма кроликов.

2. Оценить влияние добавки «Глюконолактон E575 Рокетт SG» на общеклинические показатели крови кроликов породы «Советская шиншилла».

#### **Теоретические аспекты применения препарата «Глюконолактон E575 Рокетт SG» в кормовых рационах кроликов**

Применение в рационах кроликов синтетических антиоксидантов, которые повышают эффективность утилизации токсических продуктов организмом, обеспечивает высокую выживаемость молодняка, прирост живой массы, повышение общей резистентности организма [1] и продуктивности животных. Умеренный ценовой диапазон для приобретения препаратов и отсутствие нежелательных побочных эффектов дают возможность активного использования антиоксидантов в животноводстве [10].

Кролики, как и другие животные, могут получать антиоксиданты из растительной пищи, но их концентрация может быть недостаточной для полноценной защиты от окислительного стресса. Поэтому добавление синтетических антиоксидантов в рационы кроликов может быть полезным для их здоровья и производительности.

Однако следует отметить, что некоторые исследования показывают – длительное и чрезмерное употребление синтетических антиоксидантов может быть связано с некоторыми негативными эффектами. Поэтому необходимо соблюдать рекомендации по дозировке и выбирать качественные и безопасные продукты для добавления в рационы кроликов.

Синтетические антиоксиданты, такие как бутилгидрокситолуол и бутилгидроксианизол, защищают организм животных от окислительного стресса, который возникает при метаболизме пищевых веществ [2]. Окислительный стресс может привести к повреждению клеточных структур и функций, что может привести к заболеваниям и даже смерти животных.

Глюконолактон обладает высокой антиоксидантной активностью, повышает иммунный статус животных, что в итоге положительно влияет на продуктивность кроликов [9].

Это вещество способствует также регуляции уровня кальция и фосфора в организме, что может улучшить здоровье костей и зубов животных. Кроме того, глюконолактон может повышать устойчивость к стрессу и улучшать функционирование печени.

Глюконолактон обладает следующими положительными эффектами воздействия: способствует естественному биосинтезу витамина С, детоксикации, предотвращает уменьшение гликогена в организме. Глюконолактон способствует восстановлению целостности кожного барьера. Он мягко



понижает pH кислотной мантии, уменьшая таким образом активность сериновых протеаз –разрушителей белковых компонентов корнеодесмосом. В целом, применение глюконолактона может положительно сказаться на здоровье и продуктивности кроликов [9].

#### **Материалы и методы исследования**

Исследования по определению влияния глюконолактона на обменные процессы и общеклинические показатели крови проводились в условиях частной кролиководческой фермы (с. Зубенки Рязанской области Рязанского района).

Для определения эффективности действия глюконолактона при введении его в рацион кроликов, в условиях исследования из молодняка кроликов месячного возраста мы отобрали особей, которые имеют неотягощенный лекарственный анамнез (животные, которым не вводили лекарственных препараты и кормовые добавки ранее). Данные животные являлись аналогами.

Отбор особей также проводился по общему анамнезу жизни. Одним из факторов отбора являлось отсутствие сопутствующих острых и хронических заболеваний (такие животные могут считаться клинически здоровыми).

Кролики, отобранные для постановки опыта, содержались одиночно в клетках, которые, в свою очередь, были объединены в шеды. Шеды устанавливались на открытом воздухе под навесом, при температурном режиме климата полосы рязанской области. Шеды располагались вертикально в два яруса (друг напротив друга относительно центрального прохода).

Рацион опытных животных был составлен на основании норм и рекомендаций, содержащихся в ГОСТ 34088-2017 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за сельскохозяйственными животными» [5].

В соответствии с рекомендациями основу рациона составлял полнорационный гранулированный комбикорм. Также рацион включал в себя зерно и высокобелковые травы, такие как люцерна и клевер [3, 5].

Кролики, учувствовавшие в опыте, регулярно проходили клинический осмотр ветеринарными специалистами, и на момент проведения исследований были здоровы. Для проведения исследований отобрали 20 особей кроликов породы «Советская шиншилла». Животные были отобраны по половому и весовому признаку.

В начале опытного периода было произведено контрольное взвешивание подопытных животных. Живая масса самцов кроликов при постановке на опыт составляла 1000 г ( $\pm 100$  г.), самок – 920 г ( $\pm 80$  г). Данные животные были разделены на две группы по 10 животных в каждой (5 самок и 5 самцов).

Группа, не получавшая никаких дополнительных подкормок в рацион, в том числе и глюконолактон, являлась контрольной.

У опытной группы животных в рацион в каче-

стве подкормки вносилась биологически активная добавка «Глюконолактон Е575 Рокетт SG» (белый легкорастворимый в воде порошок) два раза в день во время утреннего и вечернего кормления в дозировке 250 мг/кг живой массы. Добавку вводили с питьевой водой, путем добавления в поилки дважды в день по 125 мг/кг живой массы. Количество добавки корректировали индивидуально с учетом среднесуточного потребления воды.

Серию опытов проводили в период с 1 июня по 7 сентября 2022 года. Отбор образцов для проведения общеклинического анализа крови осуществляли из ушной вены утром до кормления каждые 2 недели после начала введения препарата в рацион.

Для предотвращения свёртывания и полноценного исследования пробу отбирали в пробирку «IMPROMINI с ЭДТА К3» объемом 0,2-0,5 мл. Исследование показателей общего анализа крови проводилось при помощи аппарата «Mindray BC-2800 vet» в условиях ветеринарной лаборатории ветеринарной клиники «9 жизней» г. Рязани. При проведении общеклинического анализа учитывали такие показатели как количество лейкоцитов (вкл. 3 субпопуляции – лимфоциты, моноциты, гранулоциты), количество эритроцитов, гемоглобина, гематокрит, средний объем эритроцита (ср. объ.эр.), среднее содержание гемоглобина в эритроците (ср.сод.гем. в эр.), средняя концентрация гемоглобина в эритроците (ср.конц.гем.в эр.), количество тромбоцитов.

#### **Результаты исследований и их обсуждение**

При оценке общего клинического состояния организма кроликов на протяжении всего периода клинических наблюдений (90 суток) нами не было выявлено каких-либо отклонений. Кролики были активны, состояние шерстного и кожного покровов соответствовало норме, видимые слизистые оболочки были гладкие, розовые, обладали характерным блеском, скорость наполнения капилляров была в пределах нормы (1-2 сек.), сердечный толчок был ясный, пальпировался умеренно, пульсовая волна на бедренной вене пальпировалась хорошо. Характер дефекации и мочеиспускания у всех животных также соответствовал физиологической норме для данного вида. Ректальная температура тела у всех кроликов (как в опытной, так и в контрольной группах) соответствовала норме и составляла в среднем 38,2° С у самок и 37,6° С у самцов.

Результаты оценки общеклинических показателей крови подопытных животных, полученные нами в ходе проведения опыта, представлены в таблице 1.

Анализ данных, приведенных в таблице 1, не выявил существенных межгрупповых отличий. В первые 45 дней введения биологически активной добавки мы отметили небольшое повышение количества лимфоцитов (на 17,4 % в сравнении с контрольной группой) на уровне четкой тенденции ( $p=0,08$ ).

Таблица 1 – Динамика общеклинических показателей крови с 1-го по 45-й дни исследований,  $M \pm SD$  (n=10)

Показатель	Норма	1.06.2022		15.06.2022		29.06.2022		13.07.2022	
		кон-троль	опыт	кон-троль	опыт	кон-троль	опыт	кон-троль	опыт
Лейкоциты *10 <sup>9</sup> /L	2,6-9,9	6,5±0,6	6,8±0,4	6,2±0,5	6,0±0,2	6,4±0,4	6,7±0,4	5,9±0,3	6,0±0,1
Лимфоциты, абс.*10 <sup>9</sup> /L	2,6-8,5	2,5±0,1	2,4±0,6	1,4±0,3	2,2±0,2	2,6±0,1	2,5±0,3	2,3±0,3	2,7±0,2*
Моноциты, абс. *10 <sup>9</sup> /L	0,0-0,5	0,1±0,1	0,2±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1	0,3±0,1	0,2±0	0,1±0,1	0,2±0,1
Гранулоциты, абс. *10 <sup>9</sup> /L	0,4-3,2	5,9±0,4	5,2±0,2	5,6±0,6	5,4±0,3	5,0±0,5	5,7±0,6	5,4±0,2	5,7±0,11
Лимфоциты, %	25-85	7,7±0,15	7,1±0,23	7,3±0,4	7,6±0,2	7,2±0,6	7,7±0,7	7,8±0,4	7,3±0,5
Моноциты, %	2-10	2,0±0,1	2,0±0,2	2,1±0,3	2,3±0,4	1,9±0,1	2,0±0,3	2,1±0,4	2,3±0,1
Гранулоциты, %	7,3-30,1	90,3±1,0	89,1±0,89	92,4±0,7	91,4±0,9	90,8±1,3	92,1±0,8	90,0±0,9	89,9±0,6
Эритроциты *10 <sup>12</sup> /L	5,60-7,39	7,30±0,5	7,15±0,2	7,25±0,2	7,20±0,4	7,32±0,1	7,48±0,1*	7,52±0,4	7,5±0,2
Гемоглобин g/L	105-160	144±4	156±8	148±5	152±12	151±8	157±9	158±6	159±4
Гематокрит %	35-48	39,2±0,8	36,8±1,4	39,4±1,5	38,4±2,2	39,4±0,6	39,1±2	39,4±0,6	40,1±1,6
Ср.объ.эр., fL	53,0-68,8	53,7±0,3	54,1±0,2	55,2±0,4	54,8±0,4	55,2±0,3	56,3±0,4	54,9±0,7	55,4±0,6
Ср.сод.гем. в эр., Pg	16,0-23,1	19,7±1,1	18,9±1,3	19,7±2,0	19,5±1,1	19,1±1,5	19,8±2,3	17,9±1,3	19,2±2,7
Ср.конц.гем.в эр., g/L	300-341	367±3	369±4	372±2	365±1	371±3	371±4	375±5	367±1
Тромбоциты *10 <sup>9</sup> /L	130-900	514±15	512±20	500±23	502±14	514±11	523±8	501±17	524±11*

Примечание:

\* –  $0,05 \leq p \leq 0,1$  – по сравнению с контрольной группой1 –  $p \leq 0,1$  – по сравнению с контрольной группой

Отмечено некоторое повышение количества гранулоцитов у животных опытной группы, на 14 % ( $p \leq 0,05$ ) в сравнении с контрольной группой. Количество эритроцитов в крови опытных кроликов, получавших с водой биологически активную добавку «Глюконолактон E575 Рокетт SG», на 30-й день исследований было выше, чем в контрольной группе на 2,2 %, но на уровне тенденции ( $p=0,1$ ). На 45-й день отмечено большее количество тромбоцитов в крови опытных кроликов (на 4,6 % выше, чем в контроле). В совокупности это может быть следствием влияния биологически активной добавки на метаболизм и стимулирующее гемопозд дей-

ствие. По другим показателям отклонений между контрольной и опытной группами, не выявлено.

При оценке данных за период с 46-го по 90-й дни исследования у кроликов группы биологического контроля отмечено снижение эритроцитов (на 35,1 и 31,8 % ниже, чем у подопытных кроликов), повышение лейкоцитов (на 75-е и 90-е сутки, в 2,6 и 2,7 раза, соответственно), выходящие за пределы физиологической нормы. В свою очередь, у кроликов опытной группы количество лейкоцитов и эритроцитов находилось в пределах физиологической нормы, значительных колебаний мы не наблюдали.

Таблица 2 – Динамика общеклинических показателей крови с 46-го по 90-й дни исследований,  $M \pm SD$  (n=10)

Показатель	Норма	27.07.2022		10.08.2022		24.08.2022		07.09.2022	
		кон-троль	опыт	кон-троль	опыт	кон-троль	опыт	контроль	опыт
Лейкоциты *10 <sup>9</sup> /L	2,6-9,9	6,5±0,6	6,7±0,3	6,1±0,2	6,3±0,2	15,5±1,42	5,9±0,1	16,7±12	6,1±0,2



Лимфоциты, абс. *10 <sup>9</sup> /L	2,6-8,5	2,0±0,4	2,1±0,2	2,3±0,1	2,8±0,2	0,7±0,1	2,3±0,2	0,2±0,1	2,1±0,3
Моноциты, абс. *10 <sup>9</sup> /L	0,0-0,5	0,3±0,2	0,2±0,2	0,2±0,1	0,5±0,1	0,3±0,2	0,2±0,1	0,1±0,1	0,3±0,1
Гранулоциты, абс. *10 <sup>9</sup> /L	0,4-3,2	5,6±0,3	5,2±0,4	5,5±0,1	5,8±0,1	14,5±0,9	5,3±0,2	16,4±0,7	5,4±0,3
Лимфоциты, %	25-85	7,4±0,6	7,2±1,0	6,8±1,3	7,6±0,3	4,8±0,22	7,6±0,24	5,2±0,12	7,3±0,2
Моноциты, %	2-10	2,2±0,4	2,3±0,2	2,2±0,5	2,3±0,2	1,8±0,5	2,1±0,8	0,8±0,6	2,8±0,4
Гранулоциты, %	7,3-30,1	90,3±0,3	95,1±0,2	92,3±0,5	91,3±0,7	93,4±0,41	87,4±0,2	96,8±0,41	85,9±0,3
Эритроциты *10 <sup>12</sup> /L	5,60-7,39	7,4±0,33	7,39±0,4	7,2±0,2	7,2±0,2	4,93±0,42	7,16±0,34	4,87±0,52	7,14±0,2
Гемоглобин g/L	105-160	162±5	160±2	162±3	157±5	186±41	159±5	184±61	162±7
Гематокрит %	35-48	40,2±0,8	39,2±0,9	39,5±0,7	41,0±0,6	33,6±0,1	38,4±0,2	32,1±0,1	39,9±0,25
Ср.объ.эр., fL	53,0-68,8	53,8±0,2	59,1±0,5	53,4±0,7	54,2±0,4	68,3±0,7	54,3±0,4	69,1±0	56,0±0,3
Ср.сод.гем. в эр., Pg	16,0-23,1	18,6±1,4	19,6±1,8	19,2±1,1	19,5±1,6	25,3±2,11	17,9±0,6	26,41±2,51	18,3±0,9
Ср.конц. гем.в эр., g/L	300-341	368±4	369±2	370±4	351±3	372±8	364±2	352±9	368±2
Тромбоциты *10 <sup>9</sup> /L	130-900	536±16	499±13	501±7	489±12	413±9	519±10	408±3	523±14

Примечание:

<sup>1</sup> –  $p \leq 0,05$  – по сравнению с контрольной группой

<sup>2</sup>  $p \leq 0,01$  – по сравнению с контрольной группой

Как показал анализ данных, количество лейкоцитов было повышено на фоне некоторого количественного роста субпопуляции гранулоцитов (разница с группой биологического контроля на 90-е сутки составила 12,7 %,  $p=0,04$ ) при снижении количества лимфоцитов на 28,8 %,  $p=0,008$ . Данная картина может быть характерна для инфекционного воспалительного процесса, однако клинически кролики контрольной группы не имели каких-либо отклонений в общем состоянии. Известно, что повышение уровня лейкоцитов (лейкоцитоз) в крови животных свидетельствует о протекающем воспалительном процессе. Воспалительный процесс является нормальной реакцией организма на воздействие чужеродных объектов инфекционной и паразитарной этиологии [3]. Живой организм способен нейтрализовать активные соединения кислорода, образующиеся

при протекании воспалительных реакций. При активном протекании воспаления резервные запасы естественных антиоксидантов организма истощаются, в результате чего переизбыток активных форм кислорода начинает пагубно влиять на не затронутые воспалением ткани и клетки.

Количество эритроцитов у кроликов контрольной группы также снизилось, как было описано выше, при этом увеличилось количество гемоглобина (на 13,6 % при контроле на 90-е сутки, при  $p=0,008$ ), что, на наш взгляд, является компенсаторной реакцией организма в ответ на снижение количества красных кровяных телец.

На рисунке представлен сравнительный график динамики основных гематологических показателей, который наглядно показывает разницу между контрольной и опытной группами.

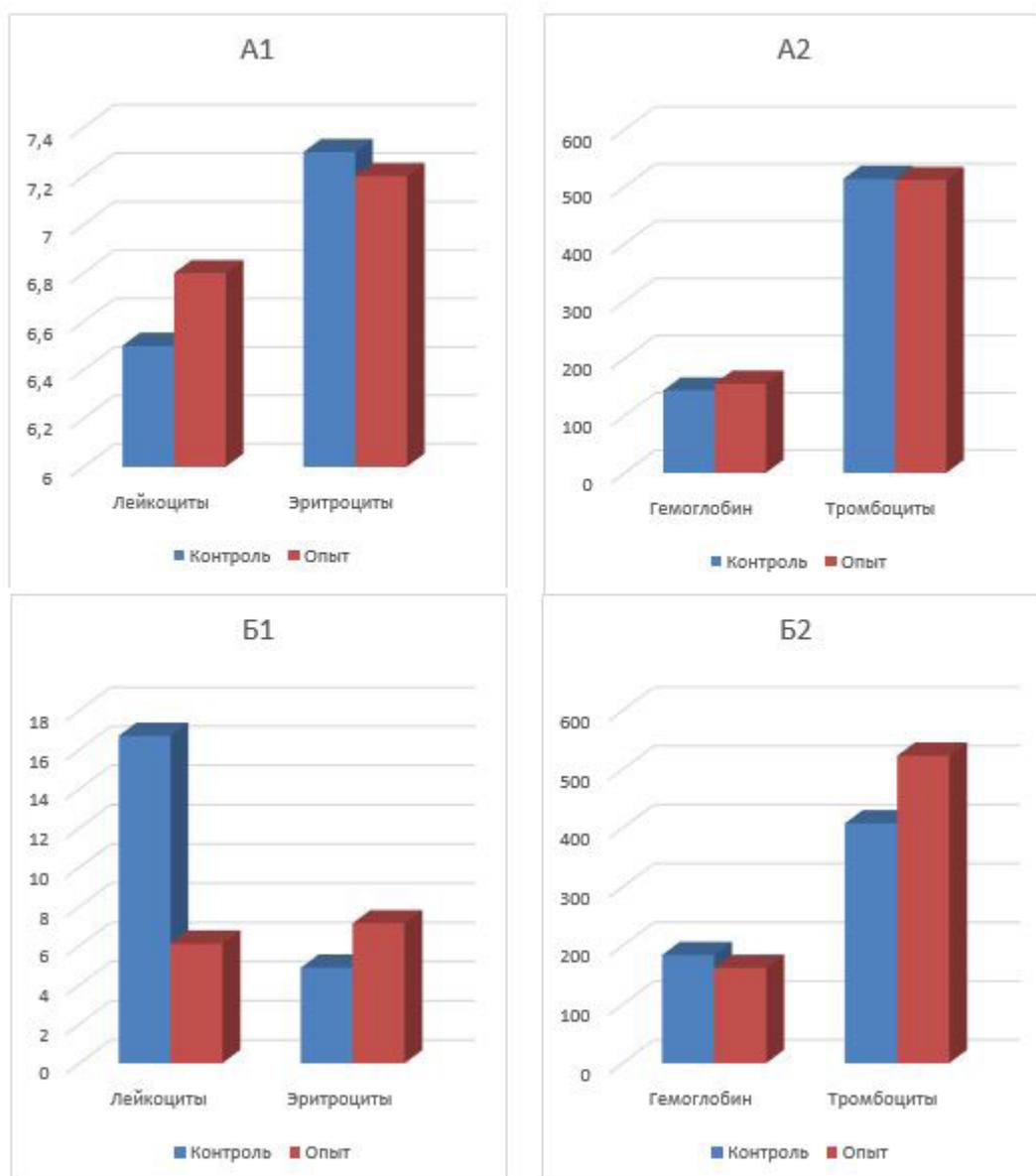


Рис. – Динамика основных гематологических показателей на 1-е (A1,A2) и 90-е (B1,B2) сутки введения добавки «Глюконолактон E575 Рокетт SG»

Fig. – Dynamics of the main hematological parameters on the 1st (A1, A2) and 90th (B1, B2) days of the introduction of the supplement "Gluconolactone E575 Rockett SG"

В связи с тем, что гематологические показатели кроликов в опытной группе оставались в пределах нормы на протяжении всего времени проведения эксперимента при одинаковых условиях кормления и содержания кроликов обеих групп, можно предположить, что вводимая нами биологически активная добавка оказывала стимулирующее действие, что может быть связано с ее антиоксидантной активностью.

Таким образом, можно сделать вывод, что введение в рацион кроликов опытной группы добавки «Глюконолактон E575 Рокетт SG», обладающей свойством связывать и нейтрализовать продукты окисления непосредственно в крови животных [9], позволило повысить устойчивость организма кро-

ликов и оказало положительный общеукрепляющий эффект.

#### Заключение

Полученные результаты позволили сделать вывод, что в период введения добавки «Глюконолактон E575 Рокетт SG» показатели крови у животных опытной группы на конечном этапе эксперимента остались практически на том же уровне, что и показатели начального этапа, в то время как у кроликов контрольной группы наблюдалась негативная динамика некоторых показателей крови. В крови животных контрольной группы к концу экспериментального периода наблюдалось повышенное содержание лейкоцитов, что может являться маркером воспалительных процессов. Негативные из-



менения также коснулись содержания эритроцитов и тромбоцитов, что может свидетельствовать об ослабленном состоянии организма животных.

Гематологические показатели кроликов в опытной группе оставались в пределах нормы на протяжении всего времени проведения эксперимента при аналогичных условиях кормления и содержания кроликов обеих групп.

В первые 45 дней введения биологически активной добавки отмечается повышение количества лимфоцитов у кроликов, которым вводили добавку «Глюконолактон E575 Рокетт SG» (на 17,4 % в сравнении с контрольной группой) на уровне четкой тенденции ( $p=0,08$ ); отмечено повышение количества гранулоцитов у животных опытной группы на 14 % ( $p\leq 0,05$ ) в сравнении с контрольной группой. Количество эритроцитов в крови подопытных кроликов, получавших с водой биологически активную добавку «Глюконолактон E575 Рокетт SG», на 30-й день исследований было выше, чем в контрольной группе на 2,2 %, на уровне четкой тенденции ( $p=0,1$ ). На 45-й день отмечено большее количество тромбоцитов в крови подопытных кроликов (на 4,6 % выше, чем в контроле). В совокупности это может быть следствием влияния биологически активной добавки на метаболизм и стимулирующее гемопозз действие.

Таким образом, можно сделать вывод, что пероральное введение кроликам опытной группы препарата «Глюконолактон E575 Рокетт SG», обладающего свойством связывать и нейтрализовать продукты окисления непосредственно в крови животных, позволило повысить устойчивость организма кроликов и оказало положительное общеукрепляющее действие.

Применение добавки «Глюконолактон E575 Рокетт SG» не оказывает негативного влияния на общее клиническое состояние кроликов.

В результате исследований нами был зафиксирован положительный эффект применения препарата «Глюконолактон E575 Рокетт SG», выражающийся в поддержании общеклинических показателей крови на нормальном физиологическом уровне, отмечена четкая тенденция к стимуляции гемопозза. Негативного действия «Глюконолактон E575 Рокетт SG» на гематологические показатели крови не выявлено.

#### Список источников

1. Абдулин И.Ф. Органические антиоксиданты как объекты анализа [Текст] / И.Ф. Абдулин, Е.Н. Турова, Г.К. Будников // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2020 - Т.167. - № 6 - С.3-13.

2. Аджиев, Д.Д. Основные параметры антиоксидантной системы крови у кроликов в половозрастной динамике / Д.Д. Аджиев, Г.Ю. Мальцев, С.А. Румянцев, Е.Н. Маляренко, Н.Ф. Заторская // Сельскохозяйственная биология. - 2015. - Т. 50. - № 2. - С. 208-216.

3. Антипова, Л.В. Продукты из мяса кроликов для здорового питания: создание ассортиментных линеек, пищевая и биологическая ценность

[Текст] / Л.В. Антипова, Я.А. Попова, А.В. Черкасова // Вестник ВГУИТ. -2019. - Т. 81 - № 1 - С. 225-231.

4. Биологически активные вещества растительного происхождения. В 3 томах (комплект) [Текст] / Б.Н. Головкин и др. - М.: Наука, 2017 - 314 с.

5. ГОСТ 34088-2017 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за сельскохозяйственными животными» (дата введения 2018-08-01).

6. Драганов, И.Ф. Концентрация продуктов перекисного окисления липидов в плазме крови самцов кроликов в возрастной динамике [Текст] / И.Ф. Драганов, Д.Д. Аджиев // Научные основы повышения продуктивности сельскохозяйственных животных: Сборник научных трудов 4-ой МНПК. Краснодар. - 2011 - Часть 1 - Раздел 4 - С. 133-134.

7. Иванищев, К. А. Антиоксиданты в действии / К. А. Иванищев, К. И. Романов // Актуальные проблемы и приоритетные направления животноводства: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию факультета ветеринарной медицины и биотехнологии, Рязань, 27 марта 2019 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», факультет ветеринарной медицины и биотехнологии. - Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2019. - С. 86-90.

8. Кукушкина, Т. Р. Физиологическое обоснование применения препарата «Гемобаланс» при постгеморрагической анемии у кроликов / Т. Р. Кукушкина, Э. О. Сайтханов // Научно-инновационные технологии как фактор устойчивого развития отечественного агропромышленного комплекса : Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 12 декабря 2019 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева». Том Часть I. - Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2019. - С. 130-134.

9. Кулаков, В. В. Применение глюконолактона в качестве биологически активной добавки с выраженным антиоксидантным эффектом в кормлении кроликов / В. В. Кулаков, Э. О. Сайтханов, А. В. Коюденко // Современные вызовы для АПК и инновационные пути их решения: Материалы 71-й Международной научно-практической конференции, Рязань, 15 апреля 2020 года. Том Часть 1. - Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. - С. 83-88.

10. Меньщикова Е. Б. Фенольные антиоксиданты в биологии и медицине [Текст] / Е. Б. Меньщикова, В. З. Ланкин, Н. В. Кандалинцева. - Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019 - 488 с.



11. Модель питания кроликоматок на основе применения антиоксидантов в липосомальной форме с содержанием йода [Текст] / В.С. Паштецкий, Д.В. Зубоченко, П.С. Остапчук, Т.А. Кувейда // Вестник КрасГАУ. – 2020 – № 7 – С. 93–99.

**Вклад авторов:**

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### References

1. Abdulin I.F. *Organicheskie antioksidanty kak ob"ekty analiza* [Tekst] / I.F. Abdulin, E.N. Turova, G.K. Budnikov // *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov.* - 2020 - T.167. - № 6 - S.3-13.
2. Adzhiev, D.D. *Osnovnye parametry antioksidantnoj sistemy krovi u krolikov v polovozrastnoj dinamike* / D.D. Adzhiev, G.YU. Mal'cev, S.A. Rummyancev, E.N. Malyarenko, N.F. Zatorskaya // *Sel'skohozyajstvennaya biologiya.* – 2015. – Т. 50. – № 2. – С. 208-216.
3. Antipova, L.V. *Produkty iz myasa krolikov dlya zdorovogo pitaniya: sozdanie assortimentnyh lineek, pishchevaya i biologicheskaya cennost'* [Tekst] / L.V. Antipova, YA.A. Popova, A.V. Cherkasova // *Vestnik VGUIT.* –2019. – Т. 81 – № 1 – С. 225-231.
4. *Biologicheski aktivnye veshchestva rastitel'nogo proiskhozhdeniya. V 3 tomah (komplekt)* [Tekst] / B.N. Golovkin i dr. - M.: Nauka, 2017 – 314 s.
5. GOST 34088-2017 «*Rukovodstvo po sodержaniyu i uhodu za laboratornymi zhivotnymi. Pravila sodержaniya i uhoda za sel'skohozyajstvennymi zhivotnymi*» (data vvedeniya 2018-08-01).
6. Draganov, I.F. *Koncentraciya produktov perekisnogo okisleniya lipidov v plazme krovi samcov krolikov v vozrastnoj dinamike* [Tekst] / I.F. Draganov, D.D. Adzhiev // *Nauchnye osnovy povysheniya produktivnosti sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh: Sbornik nauchnyh trudov 4-oj MNPK. Krasnodar.* – 2011 – CHast' 1 – Razdel 4 – S. 133-134.
7. Ivanishchev, K. A. *Antioksidanty v dejstvii* / K. A. Ivanishchev, K. I. Romanov // *Aktual'nye problemy i prioritetye napravleniya zhivotnovodstva : Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 70-letiyu fakul'teta veterinarnoj mediciny i biotekhnologii, Ryazan', 27 marta 2019 goda / Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii; FGBOU VO «Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva», fakul'tet veterinarnoj mediciny i biotekhnologii.* – Ryazan': Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva, 2019. – S. 86-90.
8. Kukushkina, T. R. *Fiziologicheskoe obosnovanie primeneniya preparata «Gemobalans» pri postgemorragicheskoy anemii u krolikov* / T. R. Kukushkina, E. O. Sajthanov // *Nauchno-innovacionnye tekhnologii kak faktor ustojchivogo razvitiya otechestvennogo agropromyshlennogo kompleksa : Materialy Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, Ryazan', 12 dekabrya 2019 goda / Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii, Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva.* Tom CHast' I. – Ryazan': Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva, 2019. – S. 130-134.
9. Kulakov, V. V. *Primenenie glyukonolaktona v kachestve biologicheski aktivnoj dobavki s vyrazhennym antioksidantnym efektom v kormlenii krolikov* / V. V. Kulakov, E. O. Sajthanov, A. V. Koyudenko // *Sovremennye vyzovy dlya APK i innovacionnye puti ih resheniya : Materialy 71-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Ryazan', 15 aprelya 2020 goda. Tom CHast' 1.* – Ryazan': Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva, 2020. – S. 83-88.
10. Men'shchikova E. B. *Fenol'nye antioksidanty v biologii i medicine* [Tekst] / E. B. Men'shchikova, V. Z. Lankin, N. V. Kandalinceva. - Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019 - 488 s.
11. *Model' pitaniya krolikomatok na osnove primeneniya antioksidantov v liposomal'noj forme s sodержaniem joda* [Tekst] / V.S. Pashteckij, D.V. Zubochenko, P.S. Ostapchuk, T.A. Kuevda // *Vestnik KrasGAU.* – 2020 – № 7 – S. 93–99.

**Contribution of the authors:**

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.  
The authors declare that there is no conflict of interest.

#### Информация об авторах

**Гусарова Ангелина Владимировна**, аспирант кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, хирургии, акушерства и внутренних болезней животных, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия, linoshca@yandex.ru

**Сайтханов Эльман Олегович**, канд. биол. наук, доцент, зав. кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы, хирургии, акушерства и внутренних болезней животных, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия, elmanrzn@gmail.com



**Author information**

**Gusarova Angelina V.**, graduate student of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Surgery, Obstetrics and Internal Animal Diseases. «Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev», [linoshca@yandex.ru](mailto:linoshca@yandex.ru)

**Sa'tkhanov Elman O.**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Surgery, Obstetrics and Internal Diseases of Animals, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia, [elmanrzn@gmail.com](mailto:elmanrzn@gmail.com)

Статья поступила в редакцию 28.06.2023; одобрена после рецензирования 29.08.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 28.06.2023; approved after reviewing 29.08.2023; accepted for publication 20.09.2023.





## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 619:614.31:637.54:652.07  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.48.71.004

**ДЕФЕКТЫ, ВЫЯВЛЕННЫЕ ПРИ ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ ПРОДУКТОВ УБОЯ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Надежда Александровна Лунева <sup>1</sup>, Марина Сергеевна Силюткина <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул, Россия

<sup>2</sup> АО «Птицефабрика «Островная», г. Южно-Сахалинск, Россия

<sup>1</sup> lunyovan@mail.ru

<sup>2</sup> marisha.grin4enko@yandex.ru

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Птицеводство – наиболее рентабельная отрасль сельского хозяйства, при этом на производстве могут проявляться факторы, снижающие качество получаемой продукции, а следовательно, и эффективность производства. Для снижения ущербов предприятий отрасли необходимо выявлять негативно влияющие факторы, а также причины их возникновения и пути исправления ситуации. Целью данного исследования было выявление дефектов, снижающих качество продуктов убоя цыплят-бройлеров промышленного производства.

**Методология.** Работа была осуществлена на базе АО «Птицефабрика «Островная» г. Южно-Сахалинска. Объект исследования – цыплята-бройлеры. Материалы для исследования – тушки и другие продукты убоя цыплят-бройлеров, полученные в 2020-2021 гг. Ветеринарно-санитарную экспертизу и оценку выявленных дефектов продуктов убоя цыплят-бройлеров проводили в соответствии с актуальной нормативной документацией.

**Результаты.** В результате исследования, направленного на выявление дефектов, снижающих качество продуктов убоя цыплят-бройлеров промышленного производства, установлено, что экономические ущербы предприятию причиняют как прижизненные, так и посмертные дефекты. Из прижизненных в основном встречаются намины, их регистрируют на тушке цыпленка-бройлера в 19 % случаев от всех выявленных дефектов. Посмертные дефекты чаще представлены переломами, ушибами, разрывами кожи и кровоизлияниями, они занимают больше половины всех выявляемых дефектов. Из субпродуктов у цыплят-бройлеров пораженными оказываются сердце и печень. Выявленные дефекты тушек и субпродуктов цыплят-бройлеров возникают в процессе содержания, транспортировки и переработки молодняка птицы. Наибольший процент дефектов зафиксирован на этапе снятия оперения, поэтому предприятию необходимо сосредоточить внимание на модернизации этого технологического процесса.

**Заключение.** Результаты исследования позволили определить, какие дефекты продуктов убоя цыплят-бройлеров чаще встречаются при промышленном производстве. На основании проведенного анализа можно будет скорректировать производственный процесс и уменьшить ущербы.

**Ключевые слова:** дефекты, продукты убоя, цыплята-бройлеры, ветеринарно-санитарная экспертиза, травмы

**Для цитирования:** Лунева Н.А., Силюткина М.С. Дефекты, выявленные при ветеринарно-санитарной экспертизе продуктов убоя цыплят-бройлеров промышленного производства // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т15, №3. С 23-30 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.48.71.004>

Original article

**DEFECTS DETECTED DURING VETERINARY AND SANITARY EXAMINATION OF SLAUGHTER PRODUCTS OF COMMERCIAL BROILER CHICKENS**

**Nadezhda A. Lunyova<sup>1</sup>, Marina S. Silyutina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Altai State Agricultural University, Barnaul, Russia

<sup>2</sup> JSC "Poultry farm Ostrovnoyaya", Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

<sup>1</sup> lunyovan@mail.ru<sup>2</sup> marisha.grin4enko@yandex.ru**Abstract.**

**Problem and purpose.** Poultry farming is the most profitable branch of agriculture, while factors reducing the quality of the products obtained and, consequently, the efficiency of production may manifest themselves in the production. In order to reduce the damage to enterprises in the industry, it is necessary to identify negative influencing factors, as well as the causes of their occurrence and ways to correct the situation. The purpose of the study was to detect defects that reduce the quality of slaughter products of commercial broiler chickens.

**Methodology.** The work was carried out on the basis of JSC "Poultry farm Ostrovnaya" in Yuzhno-Sakhalinsk. The object of the study is broiler chickens. Materials for the study are carcasses and other slaughter products of broiler chickens obtained in 2020-2021. Veterinary and sanitary examination and evaluation of the detected defects in the slaughter products of broiler chickens were carried out in accordance with the current regulatory documentation.

**Results.** As a result of the study aimed at detecting defects that reduce the quality of slaughter products of commercial broiler chickens, it was found that intravital and postmortem defects cause economic damage to the enterprise. Of the intravital ones, breast blisters are mainly found, they are registered on a broiler chicken's carcass in 19 % of all detected defects. Postmortem defects are more often represented by fractures, bruises, skin ruptures and hemorrhages; they account for more than half of all detected defects. Of the by-products in broiler chickens, heart and liver are affected. Detected defects of carcasses and by-products of broiler chickens arise in the process of keeping, transporting and processing of poultry. The largest percentage of defects is recorded at the stage of plumage removal, so the company needs to focus on modernising this technological process.

**Conclusion.** The results of the study made it possible to determine which defects of broiler chicken slaughter products are more common in industrial production.

**Key words:** defects, slaughter products, broiler chickens, veterinary and sanitary examination, injuries

**For citation:** Lunyova N.A, Silyutin M.S. Defects detected during veterinary and sanitary examination of slaughter products of commercial broiler chickens // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol.15. N.3, P. 23-30 ://doi.org 10.36508/RSATU.2023.48.71.004

**Введение**

Птицеводство, как отрасль, возникло в Индии еще до нашей эры. Благодаря domestikации в тех краях дикой джунглевой курицы произошли, практически, все известные в настоящее время породы. Со временем птицеводство распространилось в страны Европы и Азии. В Российской Федерации интенсивная промышленная селекция птицы началась в девяностые годы XX века, до этого времени разведением птицы занимались, в основном, крестьянские хозяйства [1].

В современном мире отрасль вышла на высокий уровень. Сегодня птицеводство является одной из интенсивно развивающихся отраслей агропромышленного комплекса. Целью ее развития и усовершенствования является получение высокопитательных и диетических продуктов – мяса и яиц. Кроме получивших широкое распространение, куриных яиц в пищу используют перепелиные, цесаринные и страусиные. В качестве мясных птиц наиболее востребовано разведение уток, гусей и индеек. Помимо выпуска продукции яичного и мясного направления, отрасль производит высокожирную деликатесную печень уток и гусей, кожу, пух, перо, кровь, эмбрионы, субпродукты и помет [2, 3].

На сегодняшний день упор на развитие птицеводства делается не только из-за быстрых темпов воспроизводства поголовья, но и потому, что в условиях ограниченных зерновых ресурсов в этой отрасли достигается наибольшая отдача в расчете на единицу затраченного корма с наименьшими затратами материальных средств и труда относительно других отраслей животноводства. Так, на-

пример, затраты кормов и труда в данной отрасли в 2-3 раза ниже, чем в свиноводстве и скотоводстве, а выход полноценного животного белка от птицы выше, чем от свиней [4].

Отсюда следует, что птицеводство является одной из важнейших и наиболее эффективных отраслей сельского хозяйства. При этом Российская Федерация в мировом масштабе входит в число лидеров, поставляющих на рынок мясо птицы и пищевое яйцо [5].

Научно обоснованный комплекс ветеринарно-санитарных мероприятий в современных предприятиях дает возможность поддерживать биобезопасность. Но остается проблема наличия дефектов, возникающих на тушках при жизни птицы и во время технологических процессов убоя [6, 7]. Они, также как болезни, могут существенно снизить сортность продукции, а следовательно, и эффективность птицеводческого производства [8-10].

Высокая рентабельность отрасли стимулирует рост масштабов производства, что дополнительно влечет за собой получение большего количества дефектного сырья [11].

Дефекты, выявляемые при ветеринарно-санитарной экспертизе продуктов убоя птицы, определены несовершенством технологических процессов и могут быть ликвидированы только при устранении вызывающей их причины [12, 13].

Ветеринарно-санитарная экспертиза продуктов убоя птиц на промышленном производстве должна быть направлена на выявление всех патологических изменений, в том числе и приобретенных во время прохождения технологических процедур. Анализ ее результатов должен помочь



выявить дефекты, снижающие качество, а следовательно, и цену продукции. Устранение причин, способствующих появлению дефектов, может помочь снизить ущербы предприятия.

Цель – выявить дефекты, снижающие качество продуктов убоя цыплят-бройлеров промышленного производства.

Задачи исследования:

1) определить процент продуктов убоя цыплят-бройлеров, пораженных дефектами;

2) изучить, какие дефекты продуктов убоя цыплят-бройлеров появляются при выращивании, убое и переработке молодняка птицы в АО «Птицефабрика «Островная»;

3) выявить причины и частоту встречаемости отдельных дефектов;

4) дать рекомендации по снижению количества дефектных продуктов убоя цыплят-бройлеров.

#### Материалы и методы исследования

Исследовательская часть работы была осуществлена на базе АО «Птицефабрика «Островная» г. Южно-Сахалинска.

Период исследования 2020-2021 гг.

Объектом исследования были цыплята-бройлеры.

Средний убойный вес – 1,5-2 кг.

Убойный возраст – 42-45 дней.

Содержание цыплят-бройлеров клеточное и напольное, с преобладанием клеточного.

Отлов производится вручную из клеток и пола (при отлове с пола используют красный свет, успокаивающий цыплят-бройлеров, отлов происходит легче и снижается вероятность прижизненного травматизма). В смену на убой поступает около 8000 голов.

Материалы для исследования – тушки и другие продукты убоя цыплят-бройлеров, полученные в 2020-2021 гг. в количестве 1 700 000 шт.

Тушки и субпродукты изучали органолептически [14, 15] и оценивали в соответствии с ГОСТ 31962-2013 «Мясо кур (тушки кур, цыплят, цыплят-бройлеров и их части). ТУ», ГОСТ 18292-2012 «Птица сельскохозяйственная для убоя. ТУ» [16, 17].

В АО «Птицефабрика «Островная» внешний

вид продукции оценивает ветеринарный врач, под его руководством идет отбор проб для исследования и санитарная оценка продукции, в том числе несоответствующих требованиям тушек и субпродуктов цыплят-бройлеров. Отобранные пробы исследуют в производственной лаборатории.

Ветеринарно-санитарная экспертиза заключается в проведении органолептической оценки и тестирования проб, отобранных от продуктов убоя птиц.

Определение внешнего вида и цвета мяса и субпродуктов проводят визуально, при этом выявляют наличие (отсутствие) дефектов (ушибов, кровоизлияний, переломов, разрывов кожи, наминов и др.).

Из субпродуктов особое внимание уделяют сердцу, печени и мышечному желудку. Печень проверяют на гладкость, цвет поверхности и на разрезе, остатки желчи, жировой ткани. У сердца оценивают наличие или отсутствие кровяных сгустков, загрязнений, состояние околосердечной сумки. При оценке мышечного желудка устанавливают форму, содержимое, наличие остатков жира.

Помимо внешнего визуального осмотра пальпацией определяют консистенцию тканей. Запах определяют на разрезе. Свежесть подтверждают уже лабораторными методами.

В целях нашего исследования мы проводили органолептическое исследование продуктов убоя цыплят-бройлеров, выявляли и оценивали обнаруженные дефекты.

Полученные результаты исследований подвергали статистической обработке с дальнейшим анализом данных [18].

#### Результаты исследований и их обсуждение

По результатам проведенной ветеринарно-санитарной экспертизы продуктов убоя цыплят-бройлеров 151300 (8,9 %) тушек и субпродуктов имели наличие дефектов.

К выявленным дефектам относятся намины, кровоизлияния, ушибы, переломы костей, разрывы кожи, дряблая печень и фибринозная пленка на сердце (рис. 1).

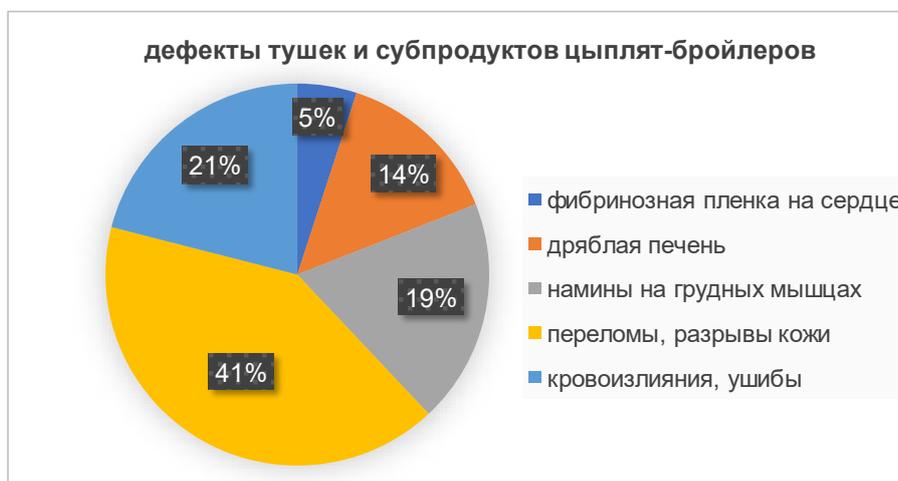


Рис. 1 – Дефекты тушек и субпродуктов цыплят-бройлеров (%)

Fig. 1 – Defects of carcasses and by-products of broiler chickens



На рисунке 1 мы видим, что выявленные дефекты затрагивают не только тушку, но и субпродукты.

Намины – уплотнения кожи или подкожной клетчатки в области киля грудных мышц (рис. 2). Возникают в результате клеточного содержания птицы и недостаточного количества подстилки, а также при случаях задержки сроков убоя, связанных с техническим аспектом производства. Намины являются распространенной проблемой мясной птицы, мы их регистрировали в 19 % случаев от всех выявляемых дефектов.



Рис. 2 – Намин на тушке цыпленка-бройлера  
Fig. 2 – Breast blister on the carcass of a broiler chicken

При незначительных поражениях мышц допускается сохранять их на тушке. При значительном охвате мышечной ткани тушку зачищают и отправляют на сортовую разделку. При обширном распространении дефекта всю тушку подвергают утилизации на мясокостную муку.

Кровоизлияния (рис. 3) – скопление в коже под крыльями тушки птицы крови при разрушении капилляров. Патология образуется в процессе перевозки бройлеров от места содержания до места убоя (расстояние 7 км), а также при переработке на производственной линии. Согласно нашим наблюдениям, кровоизлияния у цыплят также появляются в результате ушибов. Данные дефекты являются субдоминантными и составляют 21 %.

Тушка с данным дефектом не поступает в свободную продажу, а реализуется в виде отдельных частей (незатронутых), а пораженные участки направляются на производство мясокостной муки.

Самыми распространенными дефектами являются переломы ног (рис. 4) и разрывы кожи.

Нарушение целостности костей и кожи на предприятии происходит в результате снятия оперения в бильных машинах. Данные дефекты также бывают сопряжены и часто разрывы кожи являются следствием переломов. Данные дефекты преобладают над всеми остальными и являются на сегодняшний день практически непреодолимыми.

Исправить ситуацию может только переоборудование предприятия на более современное. Тушки с данными пороками направляют на разделку и изготовление полуфабрикатов.

Следующие дефекты поражают субпродукты цыплят-бройлеров.

Наиболее распространенным (14 % от количества всех дефектов) из них является дряблая печень (рис. 5). Она может являться признаком ряда несоответствий, например, недостатка в рационах сельскохозяйственной птицы незаменимых аминокислот и витаминов, также потребления высокоэнергетических кормов сверх необходимой нормы. Сопутствующей причиной служит ограничение подвижности птицы при клеточном содержании.



Рис. 3 – Кровоизлияния на тушке цыпленка-бройлера  
Fig. 3 – Hemorrhages on the carcass of a broiler chicken



Рис. 4 – Переломы ног цыпленка-бройлера  
Fig. 4 – Broiler chicken leg fractures



Рис. 5 – Дряблая печень цыпленка-бройлера  
Fig. 5 – Flabby broiler chicken lever

Такая печень идет на выработку мясокостной муки.

Менее распространена фибринозная пленка на сердце цыпленка-бройлера (рис. 6).



Рис. 6 – Фибринозная пленка на сердце цыпленка-бройлера  
Fig. 6 – Fibrinous film on the heart of a broiler chicken

Данный дефект выявляется в 5 % случаев и свидетельствует о наличии воспалительного процесса. Мы связываем возникновение данной патологии также с рядом факторов. Возникновению фибринозной пленки способствует скученное содержание птицы, плохая вентиляция, сырость в помещениях, перегрев, неполноценное кормление и др. Способствующим фактором является применение в птицеводческом хозяйстве живых вакцин. На птицефабрике отсутствует собственное родительское стадо, поэтому инкубационное яйцо

доставляется с материка, в доставленном яйце встречаются случаи поражения колибактериозом, из-за чего гибнет инфицированный молодняк после инкубации. Поэтому молодняк пролечивают биомцином и пробиотиками, а взрослую птицу профилактруют алиментарно, через добавление в корм костной муки, витаминов, а также осуществляют обязательные санитарные мероприятия по обеззараживанию воздуха, подстилки, воды, клеток.

Субпродукт с данным дефектом обезвреживается и перерабатывается в котлах ЛАПСа.

Подытожить результаты дефектовки можно тем, что прижизненные пороки чаще всего являются следствием несоблюдения правил отлова, транспортировки и содержания птицы, а посмертные – результатом несовершенства технологических процессов после убоя.

Выявленные дефекты снижают сортность тушек и субпродуктов молодняка птицы, а следовательно, требуют принятия корректирующих мер.

#### Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) при проведении ветеринарно-санитарной экспертизы продуктов убоя цыплят-бройлеров в АО «Птицефабрика» общий процент пораженных дефектами тушек и субпродуктов составил 8,9 %;

2) обнаруженные дефекты носят прижизненный и посмертный характер;

3) из прижизненных дефектов чаще встречаются намины, их регистрируют на тушке цыпленка-бройлера в 19 % случаев;

4) посмертные дефекты чаще представлены переломами, ушибами, разрывами кожи и кровоизлияниями. Вместе указанные травмы занимают больше половины всех выявляемых дефектов продуктов убоя цыплят-бройлеров;

5) из субпродуктов пораженными оказываются наиболее ценные – сердце (5 %) и печень (14 %), что, как следствие, снижает рентабельность производства ввиду направления их на утилизацию;

6) причинами образования выявленных пороков на тушках и субпродуктах цыплят-бройлеров являются нарушения процессов содержания, транспортировки и переработки птицы. Наибольший процент дефектов зафиксирован на этапе снятия оперения, поэтому предприятию необходимо заострить внимание на этом технологическом процессе.

Необходимо констатировать, что в современных условиях при промышленной технологии выращивания цыплят-бройлеров невозможно избежать влияния механических факторов, приводящих к травматизму.

С целью снижения процента тушек и субпродуктов цыплят-бройлеров, имеющих дефекты, можно рекомендовать следующее:

- обновить производственную линию предприятия современным отечественным оборудованием, позволяющим производить своевременный убой птицы и снизить риск образования дефектов.



- организовать производство собственного родительского стада, что позволит получать здоровый молодняк:

- сбалансировать рацион цыплят-бройлеров по витаминам, аминокислотам и другим высокоактивным биологическим веществам:

- перейти на полное напольное содержание птицы, что снизит вероятность образования наминов на грудных мышцах цыплят-бройлеров

#### Список источников

1. Петров, С.Г. Происхождение и эволюция сельскохозяйственной птицы: Сельскохозяйственная птица / С.Г. Петров – М.: Сельхозиздат, 1962. – С. 125-144. – URL: <https://studfile.net/preview/9171030/page:3/>

2. Сидорова, А.Л. Технология производства яиц и мяса птицы на промышленной основе: учебное пособие / А.Л. Сидорова – КрасГАУ, 2009. – С. 34-38. – URL: <http://www.kgau.ru/new/student/43/content/100.pdf>

3. Сулейменова, Р.А. Роль и польза куриного мяса в питании человека / Р.А. Сулейменова, И.Е. Калдыбай, Э.К. Окусханова, Ф.Х. Смольникова. - Молодой ученый, 2017, №2. – С. 252-257. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xifmlz>

4. Гудыменко, В.И. Мясная продуктивность цыплят-бройлеров при выращивании по разным технологиям / В.И. Гудыменко, А.Е. Ноздрин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2014. — №6. — С. 136-139. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/myasnaya-produktivnost-tsyplyat-broylerov-pri-vyraschivanii-po-raznym-tehnologiyam>

5. Товароведение и экспертиза мяса птицы, яиц и продуктов их переработки. Качество и безопасность: учебное пособие / О.К. Мотовилов, В.М. Позняковский, К.Я. Мотовилов, Н.В. Тихонова; под редакцией В.М. Позняковского. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — С. 7-17. - URL: <https://e.lanbook.com/book/92612>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Васильева, Л.Т. Стандартизация и сертификация животноводческой продукции: учебно-методическое пособие / Л.Т. Васильева. — Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2020 — Часть 1: Стандартизация и сертификация продукции птицеводства — 2020. — С. 96-97. - URL: <https://e.lanbook.com/book/191312>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Влияние предубойных факторов. Веб-птицепром – отраслевой портал о промышленном птицеводстве [Электронный ресурс]. – URL: <http://webpticeprom.ru/ru/articles-maintenance.html?pageID=1246118767>.

8. Митрофанова, Д.А. Дефекты тушек сельскохозяйственной птицы и их влияние на качество продукции / Д.А. Митрофанова, А.Г. Бычаев // Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся, 2021. – С. 242-244. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vhvyqi>

9. Сайфульмулюков, Э.Р. Повышение эффективности контроля качества тушек цыплят-

бройлеров на фоне применения фармакологических средств для коррекции и профилактики предубойных стрессов / Э.Р. Сайфульмулюков, А.В. Мифтахутдинов. - Инновации и продовольственная безопасность, 2022, № 2(36). – С. 27-35. – URL: <https://innfoodsecr.elpub.ru/jour/issue/view/47/showToc>

10. Файрушин, Р.Н. Ветеринарно-санитарная экспертиза продуктов убоя цыплят-бройлеров и дефекты, влияющие на сортность готового продукта / Р.Н. Файрушин, В.Н. Стяжкина, Г.Ф. Сулейманова // Материалы XIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018028256> <a href="https://scienceforum.ru/2021/article/2018028256">https://scienceforum.ru/2021/article/2018028256</a>

11. Ярмоленко, О. В. Производство мяса цыплят-бройлеров: риски и методы их снижения / О. В. Ярмоленко. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — №17 (121). — С. 367-369. — URL: <https://moluch.ru/archive/121/33469/>

12. Гуцин, В.В. Новые дефекты тушек цыплят-бройлеров: поиски путей их ликвидации / В.В. Гуцин, Г.Е. Русанова, Е.И. Мартынова [и др.] // Мировые и российские тренды развития птицеводства: реалии и вызовы будущего: материалы XIX Международной конференции, Сергиев Посад, 15–18 мая 2018 г. / Российское отделение Всемирной научной ассоциации по птицеводству (ВНАП); НП «Научный центр по птицеводству»; под ред. акад. РАН, проф. В.И. Фисинина. – Сергиев Посад: Всерос. н.-и. и технол. ин-т птицеводства, 2018. – С. 525–527. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32753785>

13. Pareto and Ishikawa diagrams for identifying the causes of defects in poultry meat / E. Statsenko, R. Omarov, S. Shlykov [et al.] // International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. – 2021. – №12. – P. 1–9. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47349962>

14. Ветеринарно-санитарная экспертиза продуктов убоя животных и птицы при инфекционной, инвазионной и незаразной патологии: учебное пособие / Н.А. Верещак и др.; под редакцией Н.А. Верещак, О.Г. Петровой. — Екатеринбург: УрГАУ, 2020. — 248 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/263021>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

15. Серегин, И.Г. Ветсанэкспертиза продуктов убоя животных и птицы [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Е. Никитченко, Д.В. Никитченко, И.Г. Серегин. - М.: РУДН, 2010. - 385 с. - URL: <https://rucont.ru/efd/221348>

16. ГОСТ 18292-2012. Птица сельскохозяйственная для убоя. ТУ. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/53786/>

17. ГОСТ 31962-2013. Мясо кур (тушки кур, цыплят, цыплят-бройлеров и их части). ТУ. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/54871/>

18. Коростелева, Н.И. Биометрия в животноводстве: учебное пособие / Н.И. Коростелева, И.С. Кондрашкова, Н.М. Рудишина, И.А. Камардина. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. - 210 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19514033>



Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### References

1. Petrov, S.G. Proiskhozhdenie i evolyuciya sel'skohozyajstvennoj pticy: Sel'skohozyajstvennaya ptica / S.G. Petrov – M.: Sel'hozizdat, 1962. – S. 125-144. – URL: <https://studfile.net/preview/9171030/page:3/>
2. Sidorova, A.L. Texnologiya proizvodstva yaicz i myasa pticy na promy'shlennoj osnove: uchebnoe posobie / A.L. Sidorova – KrasGAU, 2009. – S. 34-38. – URL: <http://www.kgau.ru/new/student/43/content/100.pdf>
3. Sulejmenova, R.A. Rol' i pol'za kurinogo myasa v pitanii cheloveka / R.A. Sulejmenova, I.E. Kaldy' baj, E.K. Okusxanova, F.X. Smol'nikova. - Molodoj ucheny'j, 2017, №2. – S. 252-257. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xifmlz>
4. Gudy'menko, V.I. Myasnaya produktivnost' cyplyat-brojlerov pri vy'rashhivanii po razny'm texnologiyam / V.I. Gudy'menko, A.E. Nozdryn // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. — 2014. — №6. — S. 136-139. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/myasnaya-produktivnost-tsyplyat-broylerov-pri-vyrashchivanii-po-raznym-tehnologiyam>
5. Tovarovedenie i e'kspertiza myasa pticy, yaicz i produktov ix pererabotki. Kachestvo i bezopasnost': uchebnoe posobie / O.K. Motovilov, V.M. Poznyakovskij, K.Ya. Motovilov, N.V. Tixonova; pod redakciej V.M. Poznyakovskogo. — 5-e izd., ster. — Sankt-Peterburg: Lan', 2017. — S. 7-17. - URL: <https://e.lanbook.com/book/92612>. — Rezhim dostupa: dlya avtoriz. pol'zovatelej.
6. Vasil'eva, L.T. Standartizaciya i sertifikaciya zhivotnovodcheskoj produkcii: uchebno-metodicheskoe posobie / L.T. Vasil'eva. — Sankt-Peterburg: SPbGAU, 2020 — Chast' 1: Standartizaciya i sertifikaciya produkcii pticevodstva — 2020. — S. 96-97. - URL: <https://e.lanbook.com/book/191312>. — Rezhim dostupa: dlya avtoriz. pol'zovatelej.
7. Vliyanie predubojny'x faktorov. Vebpticeprom – otraslevoj portal o promy'shennom pticevodstve [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://webpticeprom.ru/ru/articles-maintenance.html?pageID=1246118767>.
8. Mitrofanova, D.A. Defekty' tushek sel'skoxozyajstvennoj pticy i ix vliyanie na kachestvo produkcii / D.A. Mitrofanova, A.G. By'chaev // Intellektual'ny'j potencial molody'x ucheny'x kak drajver razvitiya APK: materialy' mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molody'x ucheny'x i obuchayushhixsya, 2021. – S. 242-244. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vhvyqi>
9. Sajful'mulyukov, E.R. Povy'shenie e'ffektivnosti kontrolya kachestva tushek cyplyat-brojlerov na fone primeneniya farmakologicheskix sredstv dlya korekcii i profilaktiki predubojny'x stressov / E.R. Sajful'mulyukov, A.V. Miftaxutdinov. - Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost', 2022, № 2(36). – S. 27-35. – URL: <https://innfoodsec.elpub.ru/jour/issue/view/47/showToc>
10. Fajrushin, R.N. Veterinarno-sanitarnaya e'kspertiza produktov uboya cyplyat-brojlerov i defekty', vliyayushhie na sortnost' gotovogo produkta / R.N. Fajrushin, V.N. Styazhkina, G.F. Sulejmanova // Materialy' XIII Mezhdunarodnoj studencheskoj nauchnoj konferencii «Studencheskij nauchny'j forum» URL: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018028256>
11. Yarmolenko, O. V. Proizvodstvo myasa cyplyat-brojlerov: riski i metody' ix snizheniya / O. V. Yarmolenko. — Tekst: neposredstvenny'j // Molodoj ucheny'j. — 2016. — №17 (121). — S. 367-369. — URL: <https://moluch.ru/archive/121/33469/>
12. Gushhin, V.V. Novy'e defekty' tushek cyplyat-brojlerov: poiski putej ix likvidacii / V.V. Gushhin, G.E. Rusanova, E.I. Marty'nova [i dr.] // Mirovy'e i rossijskie trendy' razvitiya pticevodstva: realii i vy'zovy' budushhego: materialy' XIX Mezhdunarodnoj konferencii, Sergiev Posad, 15–18 maya 2018 g. / Rossijskoe otdelenie Vsemirnoj nauchnoj associacii po pticevodstvu (VNAP); NP «Nauchny'j centr po pticevodstvu»; pod red. akad. RAN, prof. V.I. Fisinina. – Sergiev Posad: Vseros. n.-i. i texnol. in-t pticevodstva, 2018. – S. 525–527. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32753785>
13. Rareto and Ishikawa diagrams for identifying the causes of defects in poultry meat / E. Statsenko, R. Omarov, S. Shlykov [et al.] // International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. – 2021. – №12. – P. 1–9. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47349962>
14. Veterinarno-sanitarnaya e'kspertiza produktov uboya zhivotny'x i pticy pri infekcionnoj, invazionnoj i nezaraznoj patologii: uchebnoe posobie / N.A. Vereshhak i dr.; pod redakciej N.A. Vereshhak, O. G. Petrovoj. — Ekaterinburg: UrGAU, 2020. — 248 s. - URL: <https://e.lanbook.com/book/263021>. — Rezhim dostupa: dlya avtoriz. pol'zovatelej.
15. Seregin, I.G. Vetsane'kspertiza produktov uboya zhivotny'x i pticy [E'lektronny'j resurs]: ucheb. posobie / V.E. Nikitchenko, D.V. Nikitchenko, I.G. Seregin. - M.: RUDN, 2010. - 385 s. - URL: <https://rucont.ru/efd/221348>
16. GOST 18292-2012. Pticza sel'skoxozyajstvennaya dlya uboya. TU. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/53786/>
17. GOST 31962-2013. Myaso kur (tushki kur, cyplyat, cyplyat-brojlerov i ix chasti). TU. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/54871/>
18. Korosteleva, N.I. Biometriya v zhivotnovodstve: uchebnoe posobie / N.I. Korosteleva, I.S. Kondrashkova,



N.M. Rudishina, I.A. Kamardina. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2009. - 210 s. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19514033>

*Contribution of the authors:*

*All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

#### **Информация об авторах**

**Лунева Надежда Александровна**, канд. биол. наук, доцент кафедры микробиологии, эпизоотологии, паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Алтайский государственный аграрный университет, [lunyovan@mail.ru](mailto:lunyovan@mail.ru)

**Силютина Марина Сергеевна**, инженер по качеству АО «Птицефабрика «Островная», г. Южно-Сахалинск, [marisha.grin4enko@yandex.ru](mailto:marisha.grin4enko@yandex.ru)

#### **Author information**

**Lunyova Nadezhda A.**, of Biological Science, Associate Professor of the Department of Microbiology, Epizootology, Parasitology and Veterinary and Sanitary Examination, Altai State Agricultural University, [lunyovan@mail.ru](mailto:lunyovan@mail.ru)

**Silyutina Marina S.**, quality engineer of JSC "Poultry farm Ostrovnaya", Yuzhno-Sakhalinsk, [marisha.grin4enko@yandex.ru](mailto:marisha.grin4enko@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 14.08.2023; одобрена после рецензирования 15.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 14.08.2023; approved after reviewing 15.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 631.8  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.48.59.005

**ГУМИНОВОЕ УДОБРЕНИЕ КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ  
И ФОРМИРОВАНИЕ ЗЛАКО-БОБОВОЙ ТРАВΟΣМЕСИ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ  
СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ**

**Артём Андреевич Павлов**

Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, Москва, Россия

[kupoz@mail.ru](mailto:kupoz@mail.ru)

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Решение вопроса обеспечения отрасли животноводства качественными и питательными кормами является важной задачей. Использование в рационе питания крупного рогатого скота сена и зеленого корма из вико-овса дает хорошую отдачу. Величина урожая культур напрямую зависит от питательной ценности почвы. В условиях дефицита внесения органических удобрений в почву и ее деградации актуальность приобретает исследование в области комплексного использования органических удобрений с гуминовыми удобрениями. Цель настоящих исследований заключается в оценке влияния разных доз гуминового удобрения в различных сочетаниях с биогуомусом, навозом, NPK на урожайность и качественный состав вико-овсяной травосмеси, выращиваемой на дерново-подзолистой супесчаной почве.

**Методология.** Вегетационный эксперимент проведен на предварительно очищенной и подготовленной дерново-подзолистой супесчаной почве. Схема опыта представляет собой семь вариантов в 4-х повторностях, в качестве фона использовано  $N_{30}P_{30}K_{30}$ . Варианты предусматривают использование гуминового удобрения в двух дозировках – 2,25 и 3,0 л/га в сочетаниях с органическими удобрениями (биогуомус и навоз) и без них. В ходе проведения эксперимента проводились наблюдения и анализ за процессом роста и развития растений, учет урожая, определение качественных характеристик полученного урожая сена. Использованная дерново-подзолистая почва по содержанию агрохимических показателей имела следующую характеристику: слабокислая (рНКСI – 5,6 ед.), с низкой обеспеченностью органическим веществом – 2,1 %, низким содержанием подвижного фосфора (33 мг/кг) и обменного калия (62 мг/кг). По содержанию тяжелых металлов в почве не выявлено превышений установленных гигиенических нормативов, но наблюдались наибольшие превышения фоновых концентраций у ряда тяжелых металлов (валовые формы): у Cd – в 1,6 раза, Pb – в 1,4 раза, Ni – в 1,1 раза, у Zn – в 1,04 раза.

**Результаты.** По результатам эксперимента внесение гуминового удобрения 3,0 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$  с биогуомусом 12,5 т/га оказывало положительное влияние и ускоряло развитие растений, на этом варианте отмечалась существенная прибавка в линейном росте. Прибавка по урожайности составила 46,1 % (зеленый корм) и 46,0 % (сена).

**Заключение.** Экспериментально установлена существенная прибавка в линейном росте вики на 16-й, 22-й, 50-й, 58-й и у овса на 15-й, 21-й, 49-й, 57-й дни на варианте с применением гуминового удобрения 3,0 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$  и с биогуомусом 12,5 т/га. По результатам опыта лучшая урожайность на варианте с применением гуминового удобрения 3,0 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$  и с биогуомусом – 12,5 т/га. Применяемый комплекс удобрений способствовал улучшению биохимических свойств сена. В дальнейшем представляется целесообразным проведение исследований по определению последствий вносимых мелиорантов и воздействия на динамику изменения содержания тяжелых металлов в почве.

**Ключевые слова:** вико-овсяная травосмесь, зеленый корм, органические удобрения, гуминовое удобрение, биохимический состав, дерново-подзолистая почва

**Для цитирования:** Павлов А.А. Гуминовое удобрение как фактор влияния на ростовые процессы и формирование злако-бобовой травосмеси на дерново-подзолистой супесчаной почве //Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т15, №3. С.31-37 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.48.59.005>



Original article

**HUMIC FERTILIZER AS A FACTOR OF INFLUENCE ON GROWTH PROCESSES AND THE FORMATION OF A GRAIN-LEGUME GRASS MIXTURE ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL****Artem A. Pavlov**

Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow, Russia

kupo@mail.ru

**Abstract.**

**Problem and purpose.** Solving the issue of providing the livestock industry with high-quality and nutritious feed is an important task. The use of hay and green fodder from vetch-oats in the diet of cattle gives a good return. The crop yield directly depends on the nutritional value of the soil. Under the conditions of a shortage of organic fertilizers in the soil and its degradation, research in the field of the integrated use of organic fertilizers with humic fertilizers becomes relevant. The purpose of this study is to assess the effect of different doses of humic fertilizer in various combinations with biohumus, manure, NPK on the yield and quality composition of the vetch-oat mixture grown on soddy-podzolic soil.

**Methodology.** The vegetation experiment was carried out on previously cleaned and prepared sod-podzolic sandy loamy soil. The scheme of the experiment consists of seven variants in 4 repetitions,  $N_{30}P_{30}K_{30}$  was used as a background. Options include the use of humic fertilizer in 2 dosages of 2,25 and 3,0 l/ha in combination with organic fertilizers (vermicompost and manure) and without them. During the experiment, observations and analysis of the process of growth and development of plants, accounting of the crop, determination of the qualitative characteristics of the resulting hay crop were carried out. The used soddy-podzolic soil in terms of the content of agrochemical indicators had the following characteristics: slightly acidic (pHKCl - 5.6 units), with a low supply of organic matter - 2.1%, low content of mobile phosphorus (33 mg / kg) and exchangeable potassium (62 mg/kg). According to the content of heavy metals in the soil, no excess of the established hygienic standards was revealed, but there were slight excesses of background concentrations for a number of heavy metals (gross forms) for Cd - 1.6 times, Pb - 1.4 times, Ni - 1.1 times, for Zn - 1.04 times.

**Results.** According to the results of the experiment, the application of humic fertilizer 3,0 l/ha with  $N_{30}P_{30}K_{30}$  with vermicompost 12.5 t/ha had a positive effect and accelerated the development of plants, in this variant there was a significant increase in linear growth. The yield increase was 46.1% (green fodder) and 46.0% (hay).

**Conclusion.** A significant increase in the linear growth of vetch on the 16th, 22nd, 50th, 58th day and in oats on the 15th, 21st, 49th, 57th days was experimentally established on the variant with the use of humic fertilizer 3,0 l/ha with  $N_{30}P_{30}K_{30}$  and biohumus 12.5 t/ha. According to the results of the experiment, the best yield in the variant with the use of humic fertilizer 3,0 l/ha with  $N_{30}P_{30}K_{30}$  and biohumus 12.5 t/ha. The applied complex of fertilizers contributed to the improvement of the biochemical properties of hay. In further studies, it seems appropriate to conduct studies to determine the aftereffect of the introduced ameliorants and the impact on the dynamics of changes in heavy metals in the soil.

**Key words:** vico-oat, green fodder, organic fertilizers, humic fertilizer, biochemical composition, sod-podzolic soil

**For citation:** Pavlov A.A. Humic fertilizer as a factor of influence on growth processes and the formation of a grain-legume grass mixture on sod-podzolic sandy loam soil //Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. Vol.15. N.3, P.31-37. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.48.59.005>

**Введение**

Вико-овсяная травосмесь в кормовом отношении представляет собой прекрасное сочетание бобово-злаковых культур. Использование в рационе питания крупного рогатого скота сена и зеленого корма из вико-овса давало высокую продуктивную отдачу. Такая травосмесь представляет собой полноценный питательный корм, богатый углеводами и белками. Совместное выращивание вики и овса способствует высокой устойчивости к спутыванию, полеганию вики за счет поддержки прямостоятельным овсом. Выращивание данной травосмеси оказывает минимальную нагрузку на почву и способствует сохранению плодородия почвы. Вико-овсяная травосмесь может использоваться при введении в оборот залежных земель, борясь с сорной растительностью, вредителями культур-

ных растений [1].

Несмотря на довольно хорошую устойчивость к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям, величина и качество урожайности напрямую зависят от влажности и запаса доступных питательных элементов в почве. По данным некоторых исследований оптимальный диапазон влажности дерново-подзолистой почвы при выращивании вико-овсяной смеси составляет 0,68-0,77 ПВ, причем наибольшая потребность во влаге на начальном этапе роста. [2,3]. Дерново-подзолистая почва обладает незначительными запасами валовых и подвижных форм питательных элементов, гумуса и характеризуется кислой средой. Использование совместно органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой почве способствует сохранению оптимальных агрохими-



ческих показателей [4,5]. Применение гуминовых удобрений способствует повышению эффективности применяемых органических и минеральных удобрений [6-9]. В условиях повсеместного дефицита внесения органических удобрений актуальность приобретает исследование в области комплексного использования гуминовых удобрений с органическими и минеральными удобрениями. С целью повышения эффективности действия гуминовых веществ в опыте используется гуминовое удобрение, произведенное по инновационной технологии гидродинамической кавитации, с высоким содержанием гуминовых и фульвокислот. Цель настоящих исследований заключается в оценке влияния разных доз гуминового удобрения в сочетаниях с биогумусом, навозом, NPK на урожайность и качественный состав вико-овсяной травосмеси. Проведенные исследования являются продолжением исследований по изучению комплексного действия гуминового удобрения на продуктивность и качество однолетних трав на дерново-подзолистой почве. Отличительной особенностью описанного опыта является то, что на основании данных, полученных в предыдущих исследованиях по определению наиболее эффективного сочетания гуминового удобрения с органическими и минеральными удобрениями, были выбраны перспективные варианты, по которым были введены дополнительные опыты с разными дозами удобрений.

#### Методика исследований

Таким образом, в представленном вегетационном опыте по оценке влияния разных доз гуминового удобрения при комплексном внесении с органическими и минеральными удобрениями на урожайность и качество вико-овсяной травосмеси в качестве основных удобрений выбраны биогумус, навоз и NPK. Схема опыта учитывает рекомендации производителя и результаты иных исследований, и представляет собой семь вариантов в четырех повторениях следующим образом:

- I – контроль;
- II –  $N_{30}P_{30}K_{30}$  (фон);
- III – ГУ 2,25 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$ ;
- IV – ГУ 3,0 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$ ;
- V – ГУ 2,25 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$  с биогумусом 12,5 т/га;
- VI – ГУ 3,0 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$  с биогумусом 12,5 т/га;
- VII – ГУ 2,25 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$  с навозом 25 т/га;
- VIII – ГУ 3,0 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$  с навозом 25 т/га.

В опыте использовалась вика сорта «Белорозовая 109», овес сорта «Горизонт» с общей нормой высева 210 кг/га при соотношении 40/60. Эксперимент проведен на предварительно очищенной и подготовленной дерново-подзолистой почве, отобранной на землях сельскохозяйственного назначения правобережья р. Ока в Рязанской Мещере в 2022 году. При подготовке почвы к эксперименту были выполнены операции по перемишиванию, очистке от корней, гравия при помощи сита с размером ячейки 3 мм. Каждая повторность по каждому варианту закладывалась в отдельные

девятилитровые контейнеры площадью 0,04 м<sup>2</sup>. Дно контейнера имело отверстия, через которые инфильтрационная вода от атмосферных осадков поступала в поддон, с последующим использованием ее для полива с целью поддержания оптимальной влажности в периоды недостаточного увлажнения.

Используемая в эксперименте почва относится к супесчаной почве (количество физического песка 71,4 %). По агрохимическим параметрам почва имела следующие характеристики: слабокислая (рН<sub>KCl</sub> – 5,6 ед.), с низкой обеспеченностью органическим веществом – 2,1 %, низким содержанием подвижного фосфора (33 мг/кг) и обменного калия (62 мг/кг). По результатам лабораторного анализа почвы содержание валовых форм тяжелых металлов представлено следующим образом: Zn – 29,1 мг/кг, Cd – 0,08 мг/кг, Pb – 8,4 мг/кг, Hg – 0,041 мг/кг, Cu – 7,9 мг/кг, Ni – 6,6 мг/кг, As – 1,1 мг/кг. При этом наблюдается превышение ориентировочных значений фоновых концентраций у Zn – в 1,04 раза, Cd – в 1,6 раза, Pb – в 1,4 раза, Ni – в 1,1 раз. Однако превышений установленных гигиенических нормативов в почве не выявлено. Суммарный коэффициент загрязнения Z<sub>c</sub> равен 2,14. Категория загрязнения допустимая.

Применяемые удобрения вносились в почву перед посевом в чистом виде. Гуминовое удобрение вносилось в виде рабочего раствора (0,015 %). Используемое в эксперименте гуминовое удобрение (удобрение жидкое гуминовое «ЭКО-РОСТ» под рег. № 354-18-1037-1) обладает следующими характеристиками: рН<sub>KCl</sub> – 7,46 ед, сумма гуминовых и фульвокислот 50,68 г/л. Используемый биогумус: органическое вещество 60,1 %, рН<sub>KCl</sub> – 7,3 ед; общий калий – 2,1 %, фосфор – 2,2 %. Навоз: органическое вещество 20,2 %, рН<sub>KCl</sub> – 6,9 ед; общий калий – 0,29 %, фосфор – 0,52 %.

В период проведения эксперимента осуществлялись измерения высоты растений, наблюдения за сменой фенологических фаз, учет урожая. Анализ биохимического состава сена выполнялся по общепринятым методикам в специализированной лаборатории.

#### Результаты исследований

В проведенном опыте изучали влияние гуминового удобрения в двух дозировках на фоне минерального питания с добавлением отдельно биогумуса и навоза на сроки наступления фаз развития растений. Наступление фенологических фаз – это важные показатели роста и развития растений, на которые оказывают в первую очередь влияние погодные условия и питание. Даже небольшие упущенные возможности в проявлении роста в одной фазе нельзя восстановить в более позднем периоде ввиду короткого срока вегетации. Анализ сроков наступления фаз вегетации и длительности важен, так как количество и качество урожая кормовых трав зависит от климатических условий в периоды вегетации (табл. 1).



Таблица 1 – Сроки наступления фенологических фаз у вико-овсяной травосмеси на дерново-подзолистой почве

Фазы вегетации вики				
Вариант	Всходы	Ветвление стебля	Бутонизация	Цветение
I	08.05	15.05	13.06	20.06
II	07.05	15.05	12.06	19.06
III	06.05	15.05	12.06	19.06
IV	06.05	15.05	12.06	19.06
V	05.05	14.05	11.06	20.06
VI	05.05	14.05	11.06	20.06
VII	05.05	15.05	11.06	20.06
VIII	05.05	15.05	11.06	20.06
Фазы вегетации овса				
Вариант	Всходы	Кущение	Выход в трубку	Выметывание метелки
I	06.05	18.05	31.05	15.06
II	06.05	18.05	31.05	14.06
III	06.05	18.05	31.05	14.06
IV	06.05	18.05	31.05	14.06
V	05.05	15.05	29.05	12.06
VI	05.05	15.05	29.05	12.06
VII	06.05	17.05	30.05	13.06
VIII	05.05	16.05	29.05	12.06

В ходе проведения эксперимента установлено, что на вариантах заметна разница в сроках наступления новых фаз развития. Наибольшее отличие от контрольного варианта наблюдается на вариантах V-VIII (комплексное применение гуминового удобрения с органическими и минеральными удобрениями). В частности, на VI варианте всходы вики и овса отмечены на десятый и одиннадцатый дни с момента посева, что на 1-3 дня быстрее, чем на контрольном варианте. У вики начало фазы ветвления стебля отмечено на 18-й день, на контрольном варианте – на 19-й день, бутонизация отмечена на 46-й день, на контрольном варианте на 48-й день. Максимальное отличие отмечено в фазу бутонизации – 2 дня. У овса кущение нача-

лось на 19-й день, на контрольном варианте – на 22-й день, выход в трубку на 33-й день, на контрольном варианте – на 35-й день. Максимальное отличие отмечено в фазу кущения. По результатам эксперимента внесение гуминового удобрения 3,0 л/га с N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub> с биогумусом 12,5 т/га оказывало положительное влияние и ускоряло развитие растений.

Прохождение растениями фаз роста и развития сопровождалось различиями по высоте на разных вариантах. Применение удобрений в целом стимулировало рост растений в высоту. Результаты измерения высоты растений представлены в таблице 2. Линейный рост имеет прямую зависимость с величиной урожайности.

Таблица 2 – Динамика линейного роста вико-овсяной травосмеси при использовании удобрений на дерново-подзолистой почве, см

Срок проведения измерений линейного роста вики				
Вариант	16-й день	22-й день	50-й день	58-й день
I	6,2±0,06	17,9±0,11	27,8±0,09	39,8±0,04
II	6,6±0,11	19,7±0,13	29,8±0,08	40,1±0,06
III	6,9±0,05	20,1±0,13	31,1±0,09	40,3±0,08
IV	7,1±0,05	20,4±0,10	31,5±0,08	40,8±0,05
V	7,3±0,10	21,1±0,09	33,6±0,08	41,6±0,08
VI	7,6±0,12	22,4±0,09	35,8±0,11	45,4±0,12
VII	6,2±0,16	18,0±0,09	28,1±0,07	39,9±0,11
VIII	6,6±0,13	18,8±0,08	28,8±0,07	40,0±0,09
Срок проведения измерений линейного роста овса				
Вариант	15-й день	21-й день	49-й день	57-й день



I	7,4±0,07	24,3±0,08	34,4±0,07	62,6±0,08
II	7,6±0,06	24,6±0,09	34,4±0,06	64,9±0,06
III	8,1±0,08	26,8±0,05	37,9±0,08	69,1±0,08
IV	8,2±0,09	26,9±0,08	38,2±0,06	69,7±0,10
V	8,5±0,09	27,8±0,11	39,3±0,07	71,6±0,11
VI	8,8±0,10	28,9±0,12	40,9±0,10	74,6±0,07
VII	7,6±0,11	24,8±0,11	35,1±0,09	64,1±0,08
VIII	7,7±0,08	25,2±0,13	35,4±0,09	64,9±0,07

Примечание: уровень вероятности  $p = 0,95$

Данные по высоте растений показывают, что в первые 2-3 недели роста по всем вариантам разница по сравнению с контролем не так отличалась, как в более поздние сроки. Так, на 16-й день опыта наибольшая высота вики зафиксирована на VI варианте, на V варианте средняя высота на 3,9 % ниже лучшего варианта; наименьший показатель отмечен на контроле (на 18,4 % ниже VI варианта). При выполнении более поздних измерений на 22-й, 50-й, 58-й дни сохранилась аналогичная динамика, таким образом, максимальная разница на 58-й день между VI и контрольным вариантами составила 12,3 % к моменту уборки урожая.

У овса наибольшая высота зафиксирована на VI варианте, на V варианте средняя высота на 3,4 % ниже лучшего варианта; наименьший показатель отмечен на контроле (на 15,9 % ниже VI варианта). При выполнении более поздних измерений на 22-й, 50-й, 58-й дни сохранилась аналогичная динамика, таким образом, максимальная разница на 50-й день между VI и контрольным вариантами составила 15,9 %, к моменту уборки урожая разница увеличилась до 16,8 %.

Урожайность кормовых трав является одним из основных показателей, характеризующих их ценность. Обеспеченность питанием оказала решающее влияние на урожайность (табл. 3).

Таблица 3 – Урожайность вико-овсяной травосмеси на дерново-подзолистой почве, зеленый корм /сено, ц/га

Вариант	Повторение				Среднее
	1	2	3	4	
I	99,9/26,4	105,7/22,7	92,1/26,4	106,0/25,1	100,9/25,1
II	112,2/26,6*	106,5*/26,5*	105,4/27,4	108,8*/27,2*	108,2/27,2
III	153,2/34,0	138,7/34,1	139,5/34,3	138,8/35,0	142,5/35,0
IV	154,7/32,1	129,5/40,1	162,1/35,9	145,3/36,6	147,9/36,6
V	174,4/47,6	192,4/44,0	177,8/47,2	190,7/45,5	183,8/45,5
VI	192,3/49,1	197,6/46,2	185,6/42,7	173,4/46,5	187,2/46,5
VII	172,1/39,2	157,6/43,2	174,1/40,7	163,8/41,5	166,9/41,5
VIII	174,8/38,7	156,6/44,0	176,7/42,8	171,7/42,3	170,0/42,3

\* – различия с контрольным вариантом не существенны при  $p \leq 0,05$

По результатам учета урожайности вико-овсяной травосмеси наблюдается прибавка относительно контроля по всем вариантам. В ходе обработки данных результатов урожайности вико-овсяной травосмеси была проведена статистическая обработка. Достоверная прибавка была отмечена на вариантах III - VIII. Фоновый вариант с применением минеральных удобрений по 1-2,4 повторностям показал недостоверную прибавку урожая вико-овсяной травосмеси.

Наибольшая прибавка по урожайности отмечена на VI варианте, она составила 46,1 % (зеленый корм) и 46,0 % (сено). Второй по величине

урожайности – V вариант, прибавка составила 45,1 % и 44,8 % соответственно. Третий по величине – VIII вариант, с прибавкой 40,6 % и 40,7 % соответственно. Варианты VII и IV – с прибавкой 39,5 %, 31,7 % и 39,5 %, 31,4 % соответственно. Таким образом, применение ГУ 3,0 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$  с биогумусом 12,5 т/га в опыте создали оптимальные условия питания растений на дерново-подзолистой почве.

В ходе проведения лабораторных наблюдений урожай сена вико-овсяной травосмеси были получены и проанализированы данные по некоторым компонентам, представленные в таблице 4.



Таблица 4– Биохимический состав сена вико-овсяной травосмеси на дерново-подзолистой почве, сухое вещество, %

Вариант	Сухое ве- щество	Сырая клет- чатка	Сырой жир	Сырой про- теин	Сырая зола	Фосфор	Кальций
I	80,9±0,2	25,79±0,10	2,93±0,01	11,85±0,06	6,39±0,05	0,31±0,01	0,60±0,01
II	80,9±0,1	25,69±0,12	3,03±0,03	11,98±0,06	6,41±0,04	0,31±0,01	0,60±0,01
III	80,8±0,2	25,66±0,10	3,04±0,01	12,09±0,06	6,50±0,03	0,32±0,01	0,60±0,01
IV	80,7±0,1	25,59±0,11	3,15±0,03	12,11±0,04	6,50±0,03	0,32±0,01	0,59±0,01
V	80,6±0,2	24,38±0,13	3,31±0,02	12,37±0,07	6,76±0,03	0,33±0,01	0,62±0,01
VI	80,6±0,2	23,95±0,11	3,35±0,02	12,41±0,05	6,83±0,03	0,34±0,01	0,62±0,01
VII	80,7±0,3	24,82±0,13	3,35±0,01	12,13±0,05	6,69±0,06	0,34±0,01	0,60±0,01
VIII	80,6±0,2	24,70±0,14	3,30±0,03	12,15±0,06	6,72±0,05	0,35±0,01	0,60±0,01

Питательная ценность сена вико-овсяной травосмеси напрямую зависит от уровня питания, температурного режима, распределения осадков, светового режима в период вегетации.

Качественный состав вико-овсяной травосмеси зависит также от ботанического состава, на который оказывает влияние температура и влажность в течении вегетации. Повышая долю содержания вики, повышаем питательность корма.

Анализ полученных данных показал, что содержание сырого протеина по всем вариантам оценивается выше среднего [10], однако на варианте VI отмечено наибольшее содержание сырого протеина, прибавка составила 4,7 %. Наибольшее значение сырого жира отмечено на VI и VII вариантах (на 14,3 % больше контрольного). Содержание сырой золы на VI варианте на 6,88 % больше, чем на контрольном варианте. Кальций и фосфор содержатся в соотношении, близком к 2:1, такое соотношение способствует хорошему усвоению элементов. Таким образом, применение ГУ 3,0 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$  с биогумусом 12,5 т/га способствует повышению питательной ценности сена вико-овсяной травосмеси.

#### Заключение

По результатам эксперимента выявлено положительное влияние применяемого комплекса органоминеральных удобрений на рост, развитие и продуктивность растений при выращивании их на дерново-подзолистой супесчаной почве. Экспериментально установлен лучший вариант – с применением гуминового удобрения 3,0 л/га с  $N_{30}P_{30}K_{30}$  и с биогумусом 12,5 т/га (IV вариант). На этом варианте наибольшая прибавка в линейном росте составила у вики на 16-й, 22-й, 50-й, 58-й и у овса на 15-й, 21-й, 49-й, 57-й дни. По результатам наблюдений за сменой фенологических фаз у растений выявлена разница в сроках наступления новых фаз развития по сравнению с контролем. Наиболее заметные отличия выявлены в фазу всходов у вики на 3 дня, и в фазу кущения у овса на 3 дня. Лучшая урожайность зеленой массы вико-овсяной травосмеси составила 187,2 ц/га, при этом прибавка составила 46,1 %, урожайность сена составила 46,5 ц/га, при этом прибавка составила 46 %. Применяемый комплекс удобрений способ-

ствовал улучшению биохимических свойств сена вико-овсяной травосмеси. В дальнейших исследованиях представляется целесообразным проведение исследований по определению действия и последствий от вносимых мелиорантов на агрохимические свойства почвы.

#### Список источников

1. Науметов, Р. В. Влияние предшественников и удобрений на продуктивность озимой пшеницы в условиях Ульяновской области / Р. В. Науметов // Агромир Поволжья. – 2019. – № 1(33). – С. 23-25.
2. Пчелкин, В. В. Влияние водного режима дерново-подзолистых почв водоразделов на урожайность вико-овсяной травосмеси / В. В. Пчелкин, Д. С. Шильников // Природообустройство. – 2012. – № 2. – С. 13-15.
3. Шильников, Д. С. Обоснование режима орошения вико-овсяной травосмеси на дерново-подзолистых почвах водоразделов Московской области : специальность 06.01.02 "Мелиорация, рекультивация и охрана земель" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шильников Дмитрий Сергеевич. – Москва, 2012. – 128 с
4. Марчук, Е. В. Эффективность минеральной и органической систем удобрения на дерново-подзолистой почве при дефицитном балансе элементов питания / Е. В. Марчук // Агрохимический вестник. – 2019. – № 3. – С. 54-59. – DOI 10.24411/0235-2516-2019-10043.
5. Влияние удобрений на продуктивность культур севооборота и вынос элементов питания в Вологодской области / О. В. Чухина, Р. А. Глазов, Д. Е. Смирнов [и др.] // Плодородие. – 2019. – № 1(106). – С. 22-25. – DOI 10.25680/S19948603.2019.106.07.
6. Khrustalev, D. A. Reproduction of soil fertility using humic fertilizers / D. A. Khrustalev // 02–03 июня 2022 года, 2022. – P. 400-402.
7. Лупова, Е. И. Влияние гуминового удобрения и доз минеральных удобрений на продуктивность ярового рапса / Е. И. Лупова, Д. В. Виноградов // Вестник аграрной науки. – 2020. – № 3(84). – С. 31-37. – DOI 10.17238/issn2587-666X.2020.3.31.
8. Кузьминых, А. Н. Влияние гуминовых удобрений на урожайность зерна ярового ячменя / А. Н. Кузьминых, Е. С. Кондратьев // Актуальные вопро-



сы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2020. – № 22. – С. 50-52.

9. Урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в зависимости от применения гуминового и минеральных удобрений / С. В. Богомазов, А. А. Левин, О. А. Ткачук, А. В. Лянденбургская

// Нива Поволжья. – 2019. – № 3(52). – С. 68-73.

10. Эффективность внутрипочвенного внесения органических удобрений / В. Г. Сычев, Г. Е. Мерзлая, Р. А. Афанасьев [и др.] // Плодородие. – 2021. – № 4(121). – С. 33-36. – DOI 10.25680/S19948603.2021.121.10.

#### References

1. Naumetov, R. V. Vliyanie predshestvennikov i udobrenij na roduktivnost' ozimoy pshenicy v usloviyah Ul'yanovskoj oblasti / R. V. Naumetov // Agromir Povolzh'ya. – 2019. – № 1(33). – S. 23-25.

2. Pchelkin, V. V. Vliyanie vodnogo rezhima dernovo-podzolistyh pochv vodorazdelov na urozhajnost' viko-ovsyanoj smesi / V. V. Pchelkin, D. S. SHil'nikov // Prirodoobustrojstvo. – 2012. – № 2. – S. 13-15.

3. SHil'nikov, D. S. Obosnovanie rezhima orosheniya viko-ovsyanoj smesi na dernovo-podzolistyh pochvah vodorazdelov Moskovskoj oblasti: special'nost' 06.01.02 "Melioraciya, rekul'tivaciya i ohranazemel'" : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / SHil'nikov Dmitrij Sergeevich. – Moskva, 2012. – 128 s.

4. Marchuk, E. V. Effektivnost' mineral'noj i organicheskoj system udobreniya na dernovo-podzolistoj pochve pri deficitnom balance elementov pitaniya / E. V. Marchuk // Agrohimicheskij vestnik. – 2019. – № 3. – S. 54-59. – DOI 10.24411/0235-2516-2019-10043.

5. Vliyanie udobrenij na produktivnost' kul'tur sevooborota i vynos elementov pitaniya v Vologodskoj oblasti / O. V. CHuhina, R. A. Glazov, D. E. Smirnov [i dr.] // Plodorodie. – 2019. – № 1(106). – S. 22-25. – DOI 10.25680/S19948603.2019.106.07.

6. Khrustalev, D. A. Reproduction of soil fertility using humic fertilizers / D. A. Khrustalev // , 02–03 iyunya 2022 goda, 2022. – P. 400-402.

7. Lupova, E. I. Vliyanie guminovogo udobreniya i doz mineral'nyh udobrenij na produktivnost' yarovogo rapsa / E. I. Lupova, D. V. Vinogradov // Vestnik agrarnoj nauki. – 2020. – № 3(84). – S. 31-37. – DOI 10.17238/issn2587-666X.2020.3.31.

8. Kuz'minyh, A. N. Vliyanie guminovyh udobrenij na urozhajnost' zerna yarovogo yachmenya / A. N. Kuz'minyh, E. S. Kondrat'ev // Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produkcii sel'skogo hozyajstva. – 2020. – № 22. – S. 50-52.

9. Urozhajnost' i kachestvo zerna yarovoj myagkoj pshenicy v zavisimosti ot primeneniya guminovogo i mineral'nyh udobrenij / S. V. Bogomazov, A. A. Levin, O. A. Tkachuk, A. V. Lyandenburskaya // Niva Povolzh'ya. – 2019. – № 3(52). – S. 68-73.

10. Effektivnost' vnuripochvennogo vneseniya organicheskikh udobrenij / V. G. Sychev, G. E. Merzlaya, R. A. Afnas'ev [i dr.] // Plodorodie. – 2021. – № 4(121). – S. 33-36. – DOI 10.25680/S19948603.2021.121.10.

#### Сведения об авторах

**Павлов Артём Андреевич**, канд. биол. наук, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, Москва, Россия

#### Author Information

**Pavlov Artyom A.**, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Moscow, Russia

Статья поступила в редакцию 13.08.2023; одобрена после рецензирования 06.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 13.08.2023; approved after reviewing 06.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 636.085.55  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.20.14.006

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВИТАМИНОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЗЕРНЕ  
ПШЕНИЦЫ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ СПЕЛОСТИ

Дмитрий Владимирович Рудой<sup>1</sup>, Виктор Иванович Пахомов<sup>2</sup>, Сергей Валерьевич Брагинец<sup>3</sup>, Татьяна Александровна Мальцева<sup>4</sup>✉, Джульетта Славиковна Саркисян<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

<sup>1,2,3</sup>Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

<sup>1</sup> rudoy.d@gs.donstu.ru

<sup>2</sup> v.i.pakhomov@mail.ru

<sup>3</sup> sbraginets@mail.ru

<sup>4</sup> tamaltseva.donstu@gmail.com

<sup>5</sup> juliasarkisyan16@yandex.ru

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Недостаток витаминов и минеральных веществ в комбикормах негативно влияет на здоровье животных: снижаются защитные функции организма, развиваются различные болезни, замедляется рост и развитие. Основным источником витаминов и минеральных веществ в комбикормах являются дорогостоящие премиксы. Целью данной работы является исследование возможности использования зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости в комбикормах как дополнительного источника минеральных веществ и витаминов.

**Методология.** Исследование изменения состава витаминов и минеральных веществ проводилось на сортах озимой пшеницы – «Адмирал» и «Лучезар», и многолетних культурах – на озимой пшенице сорта «Памяти Любимовой» (трититригия) и сизом пырее сорта «Сова». Уборка культур проводилась очёсывающе-обмолачивающим агрегатом в четырех стадиях: поздней молочной спелости, ранней фазе восковой спелости, твердой восковой спелости и полной спелости. Анализ зернового вороха на содержание минеральных веществ (железа, фосфора, селена, цинка) и витаминов (провитамин А (каротин), витамин В1, витамин Е) проводили по стандартным методикам.

**Результаты.** Наибольшее содержание каротина у всех исследуемых культур наблюдается в фазе твердой восковой спелости (0,6-1,6 мг/кг). Содержание фосфора в пшенице в процессе созревания возрастает в 1,4-1,6 раз. Максимальное содержание железа наблюдается в стадии полной спелости (53 мг/кг). Максимальное содержание селена наблюдается в стадии твердой восковой спелости (0,45-0,55 мг/кг). Содержание Витамина В1 варьируется в диапазоне от 2 до 7 мг/кг и достигает максимума в стадии полной спелости. Содержание Витамина Е резко увеличивается от стадии твердой восковой спелости до стадии полной спелости (с 4,71-8,36 до 25,84-35,77 мг/кг).

**Заключение.** Замена в рецептуре комбикормов традиционной пшеницы полной спелости на зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости позволит уменьшить количество дорогостоящих премиксов, что, в свою очередь, позволит снизить себестоимость конечного продукта.

**Ключевые слова:** кормовое сырье, комбикорма, витамины, минеральные вещества, зерновой ворох, пшеница, молочная спелость, восковая спелость, полная спелость

**Для цитирования:** Рудой Д.В., Пахомов В.И., Брагинец С.В., Мальцева Т.А., Саркисян Д.С. Исследование содержания витаминов и минеральных веществ в зерне пшеницы на разных стадиях спелости // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т.15, №.3, С.38-44 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.20.14.006>

Original article

STUDY OF THE CONTENT OF VITAMINS AND MINERALS IN WHEAT GRAIN  
AT DIFFERENT STAGES OF RIPENESS

Dmitry V. Rudoy<sup>1</sup>, Viktor I. Pakhomov<sup>2</sup>, Sergey V. Braginets<sup>3</sup>, Tatiana A. Maltseva<sup>4</sup>✉, Dzhulettta S. Sarkisian<sup>5</sup>



<sup>1,2,3,4,5</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

<sup>1,2,3</sup> Agrarian Scientific Center "Donskoy", Zernograd, Russian Federation

<sup>1</sup> rudoy.d@gs.donstu.ru

<sup>2</sup> v.i.pakhomov@mail.ru

<sup>3</sup> sbraginet@mail.ru

<sup>4</sup> tamaltseva.donstu@gmail.com

<sup>5</sup> juliasarkisyan16@yandex.ru

## Abstract.

**Problem and purpose.** The lack of vitamins and minerals in compound feeds negatively affects their health: the protective functions of the body decrease, various diseases develop, growth and development slows down. The main source of vitamins and minerals in compound feeds are expensive premixes. The purpose of the research is to investigate the possibility of using a grain heap of wheat in the early stages of ripeness in compound feeds as an additional source of minerals and vitamins.

**Methodology.** The study of changes in the composition of vitamins and minerals was carried out on varieties of winter wheat – "Admiral" and "Luhezhar", and perennial crops – winter wheat of the "Pamyati Lyubimovoj" variety (triticaria) and gray wheatgrass of the "Sova" variety. Harvesting of crops was carried out by a combining and threshing unit in 4 stages: late milk ripeness, early phase of wax ripeness, hard wax ripeness and full ripeness. The analysis of the grain heap for the content of minerals (iron, phosphorus, selenium, zinc) and vitamins (provitamin A (carotene), vitamin B1, vitamin E) was carried out according to standard methods.

**Results.** The highest content of carotene in all the studied cultures is observed in the phase of solid wax ripeness (0.6-1.6 mg/kg). The phosphorus content in wheat increases by 1.4-1.6 times during the ripening process. The maximum iron content is observed at the stage of full ripeness (53 mg/kg). The maximum selenium content is observed at the stage of solid wax ripeness of 0.45-0.55 mg/kg. The content of Vitamin B1 varies in the range from 2 to 7 mg / kg and reaches a maximum at the stage of full ripeness. The Vitamin E content increases sharply in the stage of hard wax ripeness to the stage of full ripeness (from 4.71-8.36 to 25.84-35.77 mg/kg).

**Conclusion.** Replacing in the formula of compound feeds of traditional wheat of full ripeness with a grain heap of wheat of early ripeness phases will reduce the number of expensive premixes, which in turn will reduce the cost of the final product.

**Key words:** feed raw materials, compound feed, vitamins, minerals, grain heap, wheat, milk ripeness, wax ripeness, full ripeness

**For citation:** Rudoy D.V., Pakhomov V.I., Braginet S.V., Maltseva T.A., Sarkisian D.S. Study of the content of vitamins and minerals in wheat grain at different stages of ripeness // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 3, P 38-44 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.20.14.006>

## Введение

Развитие кормовой базы и получение комбикорма высокого качества является ключевым аспектом эффективного производства продукции животноводства. Сбалансированный корм позволяет восполнить потребности животного в питательных веществах, витаминах и минералах, обеспечивает правильный обмен веществ, способствует повышению продуктивности и поддержанию общего здоровья животного. Дефицит тех или иных компонентов приводит к нарушениям метаболизма, ухудшению здоровья, снижению способности к воспроизводству [1, 2].

Немаловажную роль в питании животных играют витамины. Достаточное их количество позволяет животным быть устойчивыми к болезням и стрессам, способствует нормальному их развитию и размножению. К примеру, дефицит витамина B1 у рыб приводит к снижению потребления комбикорма и нарушению координации. Витамин E участвует в развитии и нормальном функционировании половых желез, способствует образованию антител. Его дефицит приводит к нарушению функций размножения и кровотоку, а также к ожирению и некрозу печени [2]. Каротин (провитамин A), обладает иммуномодулирующим и анти-

оксидантным действием. При его дефиците наблюдается замедление роста, нарушение работы половой системы и заболевания глаз.

Минеральные вещества, такие как селен, железо, фосфор и цинк, способствуют росту и развитию животного, участвуют в обменных процессах, в том числе белковых, липидных и углеводных. Дефицит минеральных веществ приводит к снижению темпа роста и устойчивости к болезням, к повышению смертности [2].

Для обогащения кормов витаминами и минералами используют дорогостоящие премиксы, которые значительно повышают стоимость конечного продукта. Снижение стоимости комбикормов без ухудшения их качества является актуальной задачей комбикормового производства.

Одним из основных компонентов, входящих в практически любой состав комбикорма, является пшеница. Для кормовых целей используется фуражное зерно с низким содержанием протеина, клейковины, микро- и макроэлементов и других биологически ценных веществ. По литературным данным [3-8], в процессе созревания в зерне снижается содержание белка, клейковины и других биологически ценных веществ. Поэтому использование зерна ранних фаз спелости в комбикормах

позволит повысить качество последних, уменьшив долю премиксов в кормах.

По данным [9], дополнительным источников питательных веществ, витаминов и минералов может являться солома, которая в настоящее время при традиционной комбайновой уборке остается на поле и не используется как сырье для производства комбикормов. Большинство научных работ, направленных на изучение изменения качества зерна в процессе созревания, содержат данные по изменению массовой доли белка, клейковины и стекловидности – основных показателей качества пшеницы. Целью наших исследований было получение данных об изменении других, не менее важных, показателей качества зерна пшеницы – минеральных веществ и витаминов в зерновом ворохе и рассмотреть возможность применения его в комбикормовом производстве.

#### Объекты и методы исследования

Исследование изменения состава витаминов и минеральных веществ проводилось на сортах озимой пшеницы – «Адмирал» и «Лучезар» (выведены в Аграрном научном центре «Донской»), и многолетних культурах – на озимой пшенице сорта «Памяти Любимовой» (трититригия) (получена методом селекции в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН) и сизом пырее сорта «Сова» (выведен в Омском государственном аграрном университете имени П.А. Столыпина).

Уборка данных культур проводилась очёсывающе-обмолачивающим агрегатом [10,11] (рис. 1, создан при совместной работе Донского государственного технического университета (г. Ростов-на-Дону) и Аграрного научного центра «Донской» (г. Зерноград)) в поздней молочной спелости (77 по шкале ВВСН) (рис. 2а), ранней фазе восковой спелости (83 по шкале ВВСН), твердой восковой спелости (87 по шкале ВВСН) и полной спелости (89 по шкале ВВСН) (рис. 2б). Было получено кормовое сырье в виде зернового вороха (зерно + солома) (рис. 2).



Рис. 1 – Очёсывающе-обмолачивающий агрегат для уборки зерновых колосовых культур  
Fig. 1 – Stripping and threshing unit for harvesting grain crops



а



б

Рис. 2 – Зерновой ворох мягкой озимой пшеницы сорта «Адмирал»

а – поздняя молочная спелость; б – полная спелость

Fig. 2 – Grain heap of soft winter wheat of the Admiral variety

a – late milk ripeness; b – full ripeness

Анализ зернового вороха на содержание минеральных веществ (железа, фосфора, селена, цинка) и витаминов (провитамина А (каротин), витамина В1, витамина Е) проводили по стандартным методикам, регламентированным ГОСТ 30178 (атомно-абсорбционный метод определения железа и цинка), ГОСТ 26657 (фотометрический метод определения содержания фосфора), ГОСТ Р 55449 (Флуориметрический метод определения селена на анализаторе жидкости «Флюорат-02»), ГОСТ 13496.17 (фотометрический метод определения каротина), ГОСТ 32042 (флуориметрический метод определения витамина В1), ГОСТ 34616 (определение витамина Е методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием).

Поскольку массовая доля влаги на разных стадиях спелости значительно различается, для сравнительного анализа изменения содержания минеральных веществ и витаминов в убранном зерновом ворохе проводились исследования массовой доли влаги в каждом образце по методике, описанной в ГОСТ 31640 (метод высушивания при температуре 105° С). Результаты пересчитаны на абсолютно сухое вещество.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Изменение содержания каротина в зерновом ворохе исследуемых культур в процессе созревания представлено на рисунке 3

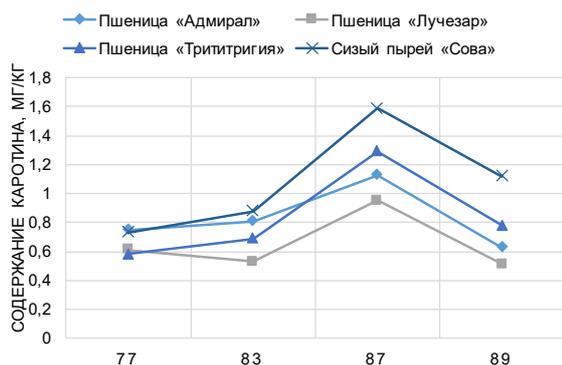


Рис. 3 – Содержание каротина в исследуемых образцах

Fig. 3 – Carotene content in the studied samples

Наибольшее содержание каротина у всех исследуемых культур наблюдается в фазе твердой восковой спелости (87 по шкале ВВСН). Массовая доля каротина находится в диапазоне 0,6-1,6 мг/кг. Основным источником каротина в кормах являются травы. Их содержание варьируется: 120-290 мг/кг (клевер красный, люцерна весенних укосов, разнотравье) [12]. Кроме того, высокое содержание каротина у травяных культур наблюдается до стадии бутонизации и цветения, после чего происходит резкое уменьшение каротина – в 2 раза [12]. Изменение содержания железа в зерновом ворохе исследуемых культур в процессе созревания представлено на рисунке 4.

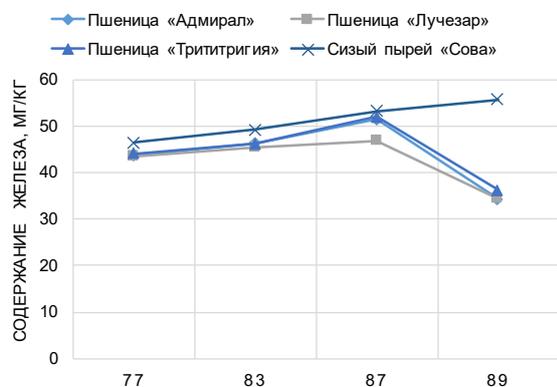


Рис. 4 – Содержание железа в исследуемых образцах

Fig. 4 – Iron content in the studied samples

Количество железа в исследуемых культурах возрастает незначительно и находится в диапазоне 44-53 мг/кг. После наступления полной спелости содержание железа в зерновом ворохе Сизого пырея сорта «Сова» продолжает возрастать, в то время как у остальных исследуемых культур содержание железа уменьшается до 34-36 мг/кг.

Изменение содержания фосфора в зерновом ворохе исследуемых культур в процессе созревания представлено на рисунке 5.

Содержание фосфора в пшенице в процессе созревания возрастает в 1,4-1,6 раз. Максимальное его содержание наблюдается в стадии пол-

ной спелости (фенологическая стадия 89). Тем не менее, в зерне ранних фаз спелости содержится больше соединений фосфора с органическими кислотами, обладающими высокой усвояемостью.

В процессе созревания зерна органических кислот становится меньше, возрастает количество соединений фосфора с неорганическими веществами, отличающихся меньшей усвояемостью [3-6].

Изменение содержания селена в зерновом ворохе исследуемых культур в процессе созревания представлено на рисунке 6.

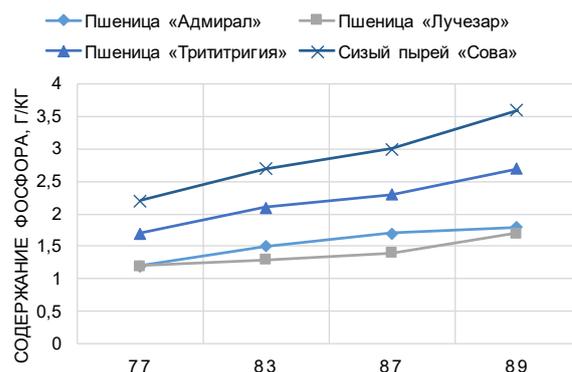


Рис. 5 – Содержание фосфора в исследуемых образцах

Fig. 5 – Phosphorus content in the studied samples

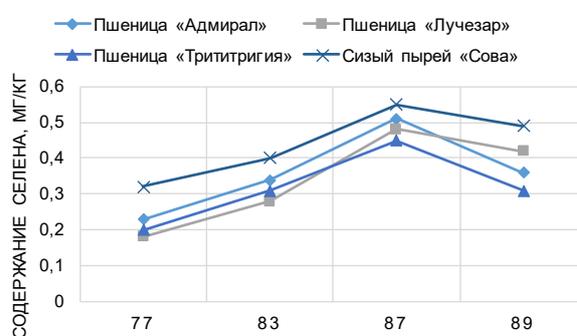


Рис. 6 – Содержание селена в исследуемых образцах

Fig. 6 – Selenium content in the studied samples

Содержание селена резко возрастает до стадии твердой восковой спелости (фенологическая стадия 87 по шкале ВВСН) и затем незначительно уменьшается. В стадии полной спелости (фенологическая стадия 89 по шкале ВВСН) содержание селена меньше, чем в стадии твердой восковой спелости (фенологическая стадия 87 по шкале ВВСН) в среднем на 20 %. Максимальное содержание селена наблюдается в стадии твердой восковой спелости – 0,45-0,55 мг/кг.

Изменение содержания витамина В1 в зерновом ворохе исследуемых культур в процессе созревания представлено на рисунке 7

Содержание витамина В1 варьируется в диа-

пазоне от 2 до 7 мг/кг. При переходе от стадии молочной спелости к восковой содержание витамина В1 снижается в 1,3-2,5 раза, после чего продолжает расти. Максимальная его концентрация достигается в стадии полной спелости.

Изменение содержания витамина Е в зерновом ворохе исследуемых культур в процессе созревания представлено на рисунке 8.

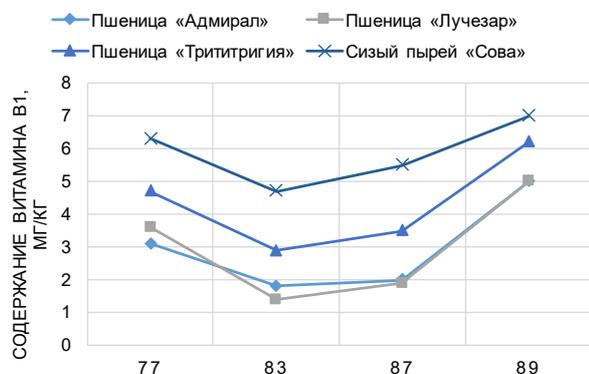


Рис. 7 – Содержание витамина В1 в исследуемых образцах

Fig. 7 – Vitamin B1 content in the studied samples

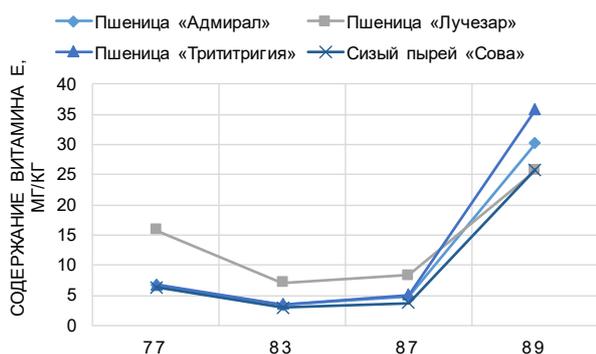


Рис. 8 – Содержание витамина Е в исследуемых образцах

Fig. 8 – Vitamin E content in the studied samples

Содержание Витамина Е резко увеличивается в стадии твердой восковой спелости до стадии полной спелости. Витамин Е является жирорастворимым и находится в основном в зародыше, поэтому его количество резко увеличивается, когда зародыш полностью сформировался (увеличение с 4,71-8,36 до 25,84-35,77 мг/кг).

#### Закключение

В исследуемых зерновых культурах в стадии полной спелости наблюдается максимальная концентрация фосфора (1,7-3,6 мг/кг), витамина В1 (5-7 мг/кг) и витамина Е (25,84-35,77 мг/кг). В сравнении со стадией твердой восковой спелости содержание фосфора, витамина В1 и витамина Е в стадии полной спелости выше в 1,3-2,5; 3,1-7,1; 1,1-1,2 раза соответственно. Остальные исследуемые вещества (селен, железо и каротин) достигают максимального значения в зерновом ворохе в стадии твердой восковой спелости (фенологи-

ческая стадия 87 по шкале ВВСН), после чего их количество уменьшается (кроме железа в зерновом ворохе Сизого пырея сорта «Сова», у которого максимальное содержание железа наблюдается в стадии полной спелости – 55,68 мг/кг). Так, максимальная концентрация селена в исследуемом ворохе зерновых культур в стадии твердой восковой спелости равна 0,48-0,55 мг/кг, железа – 46,82-51,97 мг/кг, каротина – 0,95-1,59 мг/кг.

Максимальное содержание каротина, фосфора, железа, селена и витамина В1 на всех этапах созревания наблюдается в зерновом ворохе Сизого пырея сорта «Сова», минимальное – в однолетней озимой пшенице сорта «Лучезар».

Таким образом, применение зернового вороха ранних фаз спелости как высокоценного сырья для производства комбикормов может частично заменить долю минеральных веществ и витаминов в комбикормах, уменьшив тем самым их содержание в премиксах и, соответственно, снизить себестоимость получаемого комбикорма.

**Благодарности.** Исследование выполнено при поддержке гранта в рамках конкурса «Наука-2030».

#### Список источников

1. Степурин, Г.Ф., Вранчан В.Г. Питание и кормление животных. Кишинев: Государственный аграрный университет Молдовы, 2008. - 198 с.
2. Абросимова Н.А, Абросимов С.С., Саенко Е.М. Кормовое сырье и добавки для объектов аквакультуры. – Ростов-на-Дону: Эверест, 2005. – 144 с.
3. Малкандуев Х.А., Шамурзаев Р.И., Малкандуева А.Х. Технологические свойства озимой пшеницы в процессе послеуборочного дозревания // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 6 (104). С. 146–154. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-146-154
4. Сандрыкин Д.В., Кондратенко Е. П., Егушова Е. А., Пинчук Л. Г. Динамика накопления сухого вещества и изменение химического состава зерна при созревании // Достижения науки и техники АПК. 2011. №12. - С. 32-33.
5. Ленточкин А. М., Петрович Д. В. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы Ирень в зависимости от приемов уборки // АБУ. 2010. №11-1 (77). – С. 10-12.
6. Котенко Ю.Н., Юркина А.И., Рубец В.С., Пыльнев В.В., Канаан М.Д. Динамика физических и биохимических свойств в процессе созревания зерна озимой тритикале в условиях ЦРНЗ (×TRITICOSECALE WITTM.) // Известия ТСХА. 2020. №3. – С. 42-45.
7. Rudoy D., Pakhomov V., Olshevskaya A., Maltseva T., Ugrehelidze N., Zhuravleva A., and Babajanyan A. Review and analysis of perennial cereal crops at different maturity stages. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 937 (2021) 022111. doi:10.1088/1755-1315/937/2/022111
8. Rudoy D., Pahomow V., Malceva T., Sarkisian D., and Saakian S. Overview of methods of wheat



grain conservation in early stages of ripeness. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 937 (2021) 022113. doi:10.1088/1755-1315/937/2/022113

9. Пахомов В.И., Брагинец С.В., Бахчевников О.Н., Рудой Д.В. Особенности технологии производства корма из зернового вороха при ранней и сверхранней уборке. Техника и оборудование для села. – 2021. – № 1. – С. 16-19.

10. Рудой Д.В., Пахомов В.И., Камбулов С.И., Ольшевская А.В., Золотов С.А., Мальцева Т.А. Применение метода очеса в технологии уборки многолетних зерновых колосовых культур ранних фаз спелости. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского госу-

дарственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2022. – №06(180). <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-180-013>

11. Агрегат для уборки урожая / Лачуга Ю.Ф., Месхи Б.Ч., Пахомов В.И., Рудой Д.В. // Патент на полезную модель, RU 206314 U1, 06.09.2021, Россия, МПК А01D 41/08 (2006.01); заявл. 07.06.2021, опубл. 06.09.2021 бюл. №25.

12. Егоров И., Егорова Т. Применение травяной муки в современном птицеводстве. Комбикорма. – 2022. - №2. – С. 49-51. DOI 10.25741/2413-287X-2022-02-3-165

#### Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### References

1. Stepurin, G.F., Vranchan V.G. *Pitanie i kormlenie zhivotnyh. Kishinev: Gosudarstvennyj agrarnyj universitet Moldovy, 2008. - 198 s.*

2. Abrosimova N.A, Abrosimov S.S., Saenko E.M. *Kormovoe syr'e i dobavki dlya ob"ektov akvakul'tury – Rostov-na-Donu: Everest, 2005. – 144 s.*

3. Malkanduev H.A., SHamurzaev R.I., Malkandueva A.H. *Tekhnologicheskie svoystva ozimoy pshenicy v processe posleuborochnogo dozrevaniya // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN. 2021. № 6 (104). S. 146–154. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-146-154*

4. Sandrykin D.V., Kondratenko E. P., Egushova E. A., Pinchuk L. G. *Dinamika nakopleniya suhogo veshchestva i izmenenie himicheskogo sostava zerna pri sozrevanii // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2011. №12. – S. 32-33.*

5. Lentochkin A. M., Petrovich D. V. *Urozhajnost' i kachestvo zerna yarovoj pshenicy Iren' v zavisimosti ot priemov uborki // AVU. 2010. №11-1 (77). – S. 10-12.*

6. Kotenko YU.N., YUrkina A.I., Rubec V.S., Pyl'nev V.V., Kanaan M.D. *Dinamika fizicheskikh i biohimicheskikh svoystv v processe sozrevaniya zerna ozimoy tritikale v usloviyah CRNZ (×TRITICOSECALE WITTM.) // Izvestiya TSKHA. 2020. №3. – S. 42-45.*

7. Rudoy D., Pakhomov V., Olshevskaya A., Maltseva T., Ugrekhelidze N., Zhuravleva A., and Babajanyan A. *Review and analysis of perennial cereal crops at different maturity stages. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 937 (2021) 022111. doi:10.1088/1755-1315/937/2/022111*

8. Rudoy D., Pakhomov V., Maltseva T., Sarkisian D., and Saakian S. *Overview of methods of wheat grain conservation in early stages of ripeness. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 937 (2021) 022113. doi:10.1088/1755-1315/937/2/022113*

9. Pakhomov V.I., Braginets S.V., Bahchevnikov O.N., Rudoy D.V. *Osobennosti tekhnologii proizvodstva korma iz zernovogo voroha pri rannej i sverhrannej uborke. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2021. – № 1. – S. 16-19.*

10. Rudoy D.V., Pakhomov V.I., Kambulov S.I., Olshevskaya A.V., Zolotov S.A., Maltseva T.A. *Primenenie metoda ochesa v tekhnologii uborki mnogoletnih zernovykh kolosovykh kul'tur rannih faz spelosti. Politematicheskij setевой elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Elektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2022. – №06(180). <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-180-013>*

11. Агрегат для уборки урожая / Лачуга Ю.Ф., Месхи Б.Ч., Пахомов В.И., Рудой Д.В. // Патент на полезную модель, RU 206314 U1, 06.09.2021, Россия, МПК А01D 41/08 (2006.01); заявл. 07.06.2021, опубл. 06.09.2021 бюл. №25.

12. Егоров И., Егорова Т. Применение травяной муки в современном птицеводстве. Комбикорма. – 2022. - №2. – С. 49-51. DOI 10.25741/2413-287X-2022-02-3-165

#### Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.



### Информация об авторах

**Рудой Дмитрий Владимирович**, канд. техн. наук, доцент, декан факультета «Агропромышленный», вед. научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Центр Агробιοтехнологии», ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет», ст. научный сотрудник отдела механизации растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», [rudoy.d@gs.donstu.ru](mailto:rudoy.d@gs.donstu.ru)

**Пахомов Виктор Иванович**, д-р техн. наук, член-корреспондент РАН, директор ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», зав. кафедрой «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет», [v.i.pakhomov@mail.ru](mailto:v.i.pakhomov@mail.ru)

**Брагинец Сергей Валерьевич**, д-р техн. наук, вед. научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», профессор кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет», [sbraginet@mail.ru](mailto:sbraginet@mail.ru)

**Мальцева Татьяна Александровна**, канд. техн. наук, научный сотрудник Центра развития территориального кластера «Долина Дона», ст. препод. кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», ФГБОУ ВО Донской государственной технической университет», [tamaltseva.donstu@gmail.com](mailto:tamaltseva.donstu@gmail.com)

**Саркисян Джульетта Славиковна**, инженер Центра развития территориального кластера «Долина Дона», магистрант 2 курса отдела магистратуры по направлению 19.04.01 Биотехнология, [juliasarkisyan16@yandex.ru](mailto:juliasarkisyan16@yandex.ru)

### Author information

**Rudoy Dmitry V.**, Cand.Sci. (Engr.), Associate Professor, Dean of Agribusiness faculty, Leading researcher at the Research Laboratory «Agrobiotechnology Center», Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education Don State Technical University, senior researcher at the Department of mechanization of crop production, Federal State Budgetary Scientific Institution «Agricultural Research Center «Donskoy», [rudoy.d@gs.donstu.ru](mailto:rudoy.d@gs.donstu.ru)

**Pakhomov Viktor I.**, Dr.Sci. (Engr.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Agrarian Research Center «Donskoy», Head of the Department «Technologies and equipment for processing agricultural products», Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education Don State Technical University, [v.i.pakhomov@mail.ru](mailto:v.i.pakhomov@mail.ru)

**Braginets Sergey V.**, Dr.Sci. (Engr.), Leading Researcher, Crop Products Processing Department of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Agrarian Research Center «Donskoy», professor of the Department «Technologies and equipment for processing agricultural products», Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education Don State Technical University, [sbraginet@mail.ru](mailto:sbraginet@mail.ru)

**Maltseva Tatyana A.**, Cand.Sci. (Engr.), Research of the Center of Development of the Territorial Cluster «Dolina Dona», Senior lecturer of the department «Technologies and Equipment for Agricultural Products Processing», Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education Don State Technical University, [tamaltseva.donstu@gmail.com](mailto:tamaltseva.donstu@gmail.com)

**Sarkisian Dzhuletta S.**, engineer of the Center for the Development of the territorial cluster «Dolina Dona», 2nd year student of the Master's degree department in the direction of 19.04.01 Biotechnology, [juliasarkisyan16@yandex.ru](mailto:juliasarkisyan16@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 18.08.2023; одобрена после рецензирования 02.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 18.08.2023; approved after reviewing 02.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 619:591.11[:636.2]  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.59.14.007

**ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ «IN VITRO» ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДОЗАХ 5 МГР, 50МГР И 500 МГР**

**Арина Сергеевна Федотова**

ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск, Россия

krasfas@mail.ru

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** В настоящее время оценке радиобиологических эффектов в клетках, тканях и организме в целом при воздействии малых доз ионизирующего излучения посвящено много исследований. Известно, что при воздействии ионизирующего излучения клетки организма увеличивают генерацию активных форм кислорода (АФК). Цель работы – определить основные параметры хемилюминесцентной кинетики АФК в периферической крови при облучении «in vitro» в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр. Исследование расширяет представление о степени воздействия малых доз ионизирующего излучения на ткани организма сельскохозяйственных животных. Результаты исследования могут быть использованы для прогнозирования радиобиологических эффектов многоклеточного организма. Исследования входят в практические и фундаментальные направления радиобиологии.

**Методология.** Объект исследования – хемилюминесцентные характеристики периферической крови: амплитуда максимальной активности, время достижения максимума, светосумма АФК; индекс активации. Работа выполнена в период с 2020 по 2022 годы на базе кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины и НИИЦ ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Облучение «in vitro» образцов периферической крови крупного рогатого скота проведено в дозах 5, 50, 500 мГр. Кинетика спонтанной и активированной генерации АФК регистрировалась хемилюминесцентным методом на 36-канальном хемилюминесцентном счетчике 3604-ПЭВМ.

**Результаты.** В результате хемилюминесцентного анализа установлено, что при внешнем воздействии «in vitro» ионизирующего излучения в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр изменялись основные хемилюминесцентные характеристики периферической крови. Поглощенная доза в 5 мГр стимулирует действие на клетки периферической крови, это выражалось в ускорении хемилюминесцентной реакции, увеличении максимальной интенсивности первого и второго пика антигенактивированной продукции первичных АФК и первого максимума активированной генерации вторичных АФК, и, как следствие, в росте количества антигенактивированной продукции первичных и вторичных радикалов. При облучении в дозе 50 мГр установлено ускоренное течение ХЛ-реакции, снижение амплитуды максимальной интенсивности первого пика спонтанной генерации вторичных радикалов и, как следствие, снижение количества спонтанных первичных АФК. Доза в 500 мГр замедляла формирование ХЛ-реакции, снижала максимальную интенсивность пиков, что демонстрировало ингибирование реакционной способности клеток крови к генерации первичных радикалов.

**Заключение.** Внешнее гамма-облучение «in vitro» в венозной крови крупного рогатого скота в дозе 5 мГр стимулирует клетки периферической крови к генерации люцигенин и люминол зависимых радикалов. Облучение периферической крови в дозе 50 мГр и 500 мГр негативно влияет на кинетику генерации АФК в клетках. Доза в 50 мГр снижает количество спонтанных первичных радикалов, доза 500 мГр подавляет генерацию первичных и вторичных радикалов в периферической крови животных.

**Ключевые слова:** поглощённая доза, ионизирующее излучение, «in vitro», активные формы кислорода, люцигенин, люминол, хемилюминесценция

**Для цитирования:** Федотова А.С. Хемилюминесцентные характеристики периферической крови при воздействии «in vitro» ионизирующего излучения в дозах 5 мГр, 50мГр и 500 мГр // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т.15, №.3, С.45-53 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.59.14.007>



Original article

**CHEMILUMINESCENT CHARACTERISTICS OF PERIPHERAL BLOOD WHEN EXPOSED TO "IN VITRO" IONIZING RADIATION AT DOSES OF 5 MGY, 50 MGY AND 500 MGY**

Arina S. Fedotova

FSEI HPE Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

krasfas@mail.ru

**Abstract.**

**Problem and purpose.** These days a lot of examinations are dedicated to evaluation of radiobiological effects in cells, tissue and organism as a whole under the impact of low doses of ionising radiation. It is known that under the impact of ionising radiation, the cells of an organism increase the generation of reactive oxygen species (ROS). The aim of the work is to determine basic parameters of chemiluminescent kinetics of ROS in peripheral blood under the impact of «in vitro» ionising radiation in 5 mGr, 50 mGr, 500 mGr doses. The research will extend the knowledge of impact degree of low doses of ionising radiation on organism tissue of farm animals. The results of the research can be used for prediction of radiobiological effects in multicellular organisms. The research is included in practical and fundamental directions of radiobiology.

**Methodology.** The object of research is chemiluminescent characteristics of peripheral blood: maximum activity amplitude, time to reach the maximum, light sum of ROS, activation index. The work is done in 2020-2022 in the Department of Internal Non-communicable Diseases, Obstetrics and Physiology of farm animals of the Institute of Applied Biotechnology and Veterinary Medicine Research Centre FSBEI HE Krasnoyarsk State Agrarian University. The kinetics of spontaneous and activated generation of ROS is registered by chemiluminescent method on 36-channel chemiluminometer 3604-PC.

**Results.** As a result of the chemiluminescent analysis it was established that under external influence of «in vitro» ionising radiation in 5mGr, 50 mGr, 500 mGr doses, the basic chemiluminescent characteristics of peripheral blood were changed. The absorbed dose of 5mGr acted stimulating on peripheral blood cells, reflected in chemiluminescent reaction acceleration, increase of maximum intensity of the first and the second peaks of antigen activated production of primary ROS and the first maximum of activated generation of secondary ROS and as a consequence the growth of antigen activated production of primary and secondary radicals. Under 50 mGr radiation dose, accelerated chemiluminescent reaction time was found as well as reduction of maximum intensity amplitude of the first peak of spontaneous generation of secondary radicals and as a result reduction of the amount of spontaneous primary ROS. The absorbed 500 mGr dose slowed chemiluminescent reaction formation, lowered maximum intensity of the peaks showing inhibition of blood cells reactivity to generation of primary radicals.

**Conclusion.** The external gamma radiation «in vitro» in cattle venous blood under 5 mGr radiation dose stimulates peripheral blood cells to generate lucigenin and luminol dependant radicals. The radiation of peripheral blood with 50 mGr and 500 mGr doses has negative impact on kinetics of ROS generation in cells. 50 mGr dose decreases the amount of spontaneous primary radicals, 500 mGr dose suppresses generation of primary and secondary radicals in animal peripheral blood.

**Key words:** absorbed dose, ionising radiation, «in vitro», reactive oxygen species (ROS), lucigenin, luminol, chemiluminescence

**For citation:** Fedotova A.S. Chemiluminescent characteristics of peripheral blood when exposed to "in vitro" ionizing radiation at doses of 5 mgy, 50 mgy and 500 mgy // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 3, P. 45-53 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.59.14.007>

**Введение**

В последние годы принципиально изменилось представление о реакциях биологических систем на воздействие ионизирующего излучения в малых дозах. Малые дозы изменяют клеточные и тканевые процессы, в результате изменяется функциональная активность клеток тканей организма. В оценке влияния малых доз радиации на многоклеточный организм существуют различные взгляды, от теории радиационного гормезиса до теории беспорогового действия ионизирующего излучения на организм.

Согласно теории радиационного гормезиса, ионизирующее излучение в малых дозах стимулирует течение физиологических и биохимиче-

ских процессов в клетках и тканях, в результате в организме формируется благоприятный эффект. Радиационный гормезис являлся темой для множества работ [1-5]. Jargin SV. эффект гормезиса объяснял эволюционной адаптацией к существующему на данный момент значению дозы ионизирующего излучения как к некоторому среднему значению из прошлого. Значение дозы естественной радиации за время существования жизни на Земле снижается. Процессы повреждения и репарации ДНК в клетках существуют в динамическом балансе. Процесс восстановления ДНК предполагает, что клетки организма обладают резервными возможностями репарации от более высоких уровней радиации, чем значение дозы, действующей в



настоящее время. Согласно этой концепции, повреждение клеток организма при влиянии низких доз ионизирующего излучения будет стремиться к нулю при значении доз, стремящихся к широкому диапазону уровня естественного радиационного фона [6]. Shibamoto Y. с соавторами в обзоре биологических, эпидемиологических и клинических данных о радиационном гормезисе заключили, что в связи с увеличением количества исследований по оценке влияния малых доз радиации на организм скоро будет сформировано заключение о пагубности или пользе малых доз ионизирующего излучения, о жизнеспособности безпороговой линейной теории (LNT). Биологические исследования в настоящее время предполагают индукцию биоположительных реакций организма (стимуляция иммунитета, увеличение антиоксидантов в тканях) при влиянии низких доз радиации на организм [7]. Для оценки радиационных эффектов, потенцируемых низкими дозами радиации в многоклеточном организме, требуются эмпирические исследования и дополнения теоретических основ, описывающих механизмы действия ионизирующего излучения на все уровни организации организма.

Известно, что процессы образования свободных радикалов – активных форм кислорода (АФК) в клетках являются чувствительными к воздействию слабых доз ионизирующего излучения [8, 9]. Я.И. Серкиз впервые хемилюминесцентным методом оценил физиологическое состояние животных при острой лучевой болезни [10]. Существуют работы по оценке ХЛ-реакции крови лабораторных мышей при воздействии рентгеновского излучения в дозе 0,1 Гр, в работе установлено увеличение вторичных радикалов через 0,5 ч. после облучения [11].

В научной литературе существует ограниченное количество работ, посвященных оценке радиологических эффектов при воздействии ионизирующего излучения «in vitro». Shimura N., Kojima S в статье приводили данные о чувствительности клеток крови человека при внешнем гамма-облучении «in vitro» в дозе с 1 мГр, по их мнению, поглощенная доза в 100-500 мГр является наименьшей для изменений уровней биомаркеров [12]. М.Н. Стародубцева с соавторами при облучении «in vitro» рентгеновским излучением в дозах 500-200 000 мГр цельной крови крыс оценили корреляцию между данными редокс-состояния плазмы крови и структурными свойствами плоскости эритроцитов. При дозах 500-1000 мГр в основном определяются механизмы редокс-регуляции, в интервале доз 100 000-200 000 мГр присутствует стимуляция окислительных процессов. Авторами предложено редокс-состояния плазмы, АСМ-параметры поверхности эритроцитов применять как биоиндикатор радиационно-индуцированных изменений крови при воздействии радиации [13].

Очевидно, процессы образования и утилизации АФК иммунокомпетентными клетками, непосредственно связанные с активностью про- и антиоксидантных ферментов и играющие важную

роль в обеспечении неспецифической резистентности организма, тоже изменяются. В результате преобразований возможно снижение естественной резистентности организма или возникновение аутоиммунных воспалительных реакций [14, 15]. Кинетика процесса образования свободных радикалов в клетках в ответ на внедрение «in vitro» антигена, определяемая хемилюминесцентным методом в цельной крови, показывает активность каскадно запускаемых про- и антиоксидантных ферментов клеточных мембран фагоцитирующих клеток и степень динамичности про- и антиоксидантных факторов периферической крови [15].

Yang G. в работе оценил влияние различных доз рентгеновского излучения: 20, 50, 75, 100, 200, 1000 и 3000 мГр на пролиферацию клеток, в результате определено, что при воздействии высоких доз радиации усиливалась экспрессия антиоксидантов, что уменьшало повреждение клеток избыточным количеством АФК [16]. В.С. Услащик в работе привела характеристику АФК, антиоксидантной системы и их роли в клетках и тканях организма [17]. Протас А.Ф. вывил, что внешнее гамма-облучение крыс в дозе 100-1000 мГр вызывает изменения активности супероксиддисмутазы, катализы и глутатионпероксидазы ядер клеток нейронов коры головного мозга. Максимальная активность супероксиддисмутазы наблюдалась в первые двое суток после облучения, в течение первых 5 суток снижалась активность глутатионредуктазы. В работе установлено, что в модельных исследованиях в присутствии высоких концентраций АФК снижается активность ферментов [8]. Е.В. Агаева с соавторами оценили продукцию макрофагами АФК и цитокинов при внешнем  $\gamma$ -облучении в дозе 50-500 мГр и 1000-10000 мГр косоно-мозговых клеток в условиях «in vitro». Установлено, что при воздействии гамма-излучения происходит ингибирование продукции АФК, в мезинхимальных косоно-мозговых клетках при дозе 50-100 мГр регистрировался стимулирующий эффект, при дозе 1000 мГр наблюдалось угнетение функциональной активности макрофагов. Авторами предположено, что воздействие малых доз гамма-излучения может быть одним из подходов прекондиционирования иммуномодулирующей и пролиферативной активности мезинхимальных косоно-мозговых клеток [18].

Таким образом, недостаточность данных, описывающих механизмы действия малых доз ионизирующего излучения, создает трудности с прогнозированием радиобиологических эффектов, формируемых в организме, компенсацией отрицательных эффектов и применением положительных явлений. Определение перечня радиобиологических эффектов, степени их проявления при различных значениях ионизирующего излучения в диапазоне малых доз относится к перспективным фундаментальным радиобиологическим исследованиям.

В связи с вышеизложенным, цель настоящего исследования – оценить основные параметры хемилюминесцентной кинетики генерации АФК в



образцах крови при внешнем облучении проб «in vitro» в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр.

Для достижения цели работы были решены следующие задачи:

1) отбор проб крови у крупного рогатого скота (лактлирующие коровы, средний возраст 57,6±3,55 мес.) в ферменных биогеоценозах с поглощенной дозой 0,92 мГр/год (значение поглощенной дозы принадлежит диапазону данных, отражающих глобальное техногенное загрязнение территории Красноярского края);

2) внешнее гамма-облучение «in vitro» проб крови в дозах 5 мГр, 50 мГр, 500 мГр;

3) определение основных параметров хемилюминесцентной кинетики генерации АФК: амплитуда максимальной активности ( $I_{max}$ , имп./с); время достижения максимума ( $T_{max}$ , мин); светосумма первичных и вторичных АФК ( $S$ , имп. за 180 мин); индекс активации ( $IA = S_{акт}/S_{спонт}$ , усл. ед.).

#### Материалы и методы исследования

Исследование проведено в 2020-2022 гг. на кафедре внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины и в научно-исследовательском испытательном центре ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Облучение «in vitro» образцов венозной крови крупного рогатого скота (лактлирующих коров) в дозах 5 мГр, 50 мГр, 500 мГр проведено на установке, укомплектованной источником Cs-137. Всего исследовано 91 пробы крови, 42 пробы служили контролем и не подвергались облучению. Отбор проб периферической крови коров проводили из хвостовой вены в вакуумные пробирки с активатором свертываемости. Кинетика спонтанного и активированного образования свободных радикалов – активных форм кислорода (АФК) регистрировалась хемилюминесцентным методом на хемилюминометре 3604–ПЭВМ.

Хемилюминесцентный анализ основан на реакции АФК со специфическими маркерами (усилителями хемилюминесценции) первичных (люцигенин) и вторичных (люминол) радикалов. Для хемилюминесцентной реакции использовалось 100 мкл гепаринизированной крови, разведенной в 2 раза раствором Хенкса, 200 мкл хемилюминесцентного зонда, 50 мкл суспензии частиц латекса (для активации «in vitro») или раствора Хенкса (спонтанная хемилюминесценция). Для активации хемилюминесцентной реакции применены растворы 0,1 ммоль/л люцигенина (Sigma-Aldrich,

Switzerland) и 0,22 ммоль/л люминола (Sigma, USA), имеющие четкую избирательность в отношении первичных (супероксиданион) и вторичных (гидроксил, гипохлорит, перекись водорода) АФК соответственно [15]. Время записи ХЛ-реакции 180 мин., температура в регистрационной камере +38° С, соответствовала средней температуре тела крупного рогатого скота. Исследования выполнены в секторе иммунологии международного научного центра исследований экстремальных состояний организма ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Для сельскохозяйственных животных в ферменных биогеоценозах Красноярского края ранее автором установлены дозовые нагрузки. В биогеоценозах, имеющих только глобальное техногенное загрязнение, дозовая нагрузка для крупного рогатого скота составляла 0,92 мГр/год [19]. В ферменных биогеоценозах лактирующие коровы соматически здоровы, животные спокойные, аппетит умеренный, кожный покров чистый, без повреждений, шерстный покров блестящий, тургор кожи сохранен, поверхностные лимфатические узлы (подчелюстные, поверхностные шейные и надколенные) не увеличены, подвижны и безболезненны. Слизистые оболочки ротовой полости часто пигментированы, розового цвета. Жвачка присутствовала, сокращение рубца 2,87±0,83 раза за 2 мин. Температура тела находилась в пределах физиологической нормы и в среднем составила 38,34±0,760 С. Частота сердечных сокращений достигала 77±8,9 ударов в минуту, частота дыхания – 17,6±6,5 мин. Коровы имели упитанность 3,5-3,75 ед. по Э. Уайлдману. В соответствии с ГОСТ Р 54315-2011 животные относились к первой категории упитанности.

Хемилюминесцентная кинетика образования первичных и вторичных АФК при облучении проб крови коров в дозах 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр «in vitro» имела два максимума и характеризовалась специфическими отличиями параметров при различных дозах.

Время достижения максимума ХЛ ( $T_{max I}$ ,  $T_{max II}$ , мин.) продукции первичных люцигенинзависимых свободных радикалов в пробах венозной крови при воздействии радиации «in vitro» в диапазоне малых доз и пробах крови животных, имеющих фоновую дозовую нагрузку (0,92 мГр/год) – контрольная группа, достоверно отличалось (табл. 1.)

Таблица 1– Время достижения пиков генерации первичных АФК при облучении проб крови «in vitro»

Поглощенная доза, мГр	Спонтанная генерация		Активированная генерация	
	$T_{max I}$ , мин	$T_{max II}$ , мин	$T_{max I}$ , мин	$T_{max II}$ , мин
контроль (n=42)	31,68±3,4	138,65±4,0	31,75 ±3,9	138,10±3,2
5 (n=15)	19,29±2,4	146,43±7,8	18,92±0,6**	113,29±2,7***
50 (n=16)	17,17±0,5***	140,20±11,1	19,60±1,4**	126,60±5,6
500 (n=18)	60,40±10,8*	141,38±8,1	56,57±11,0*	151,00±5,6

Здесь и далее: \* –  $P < 0,05$ ; \*\* –  $P < 0,01$ ; \*\*\* –  $P < 0,001$  в отношении к контрольным показателям



Облучение «in vitro» образцов крови в дозах 5 мГр и 50 мГр уменьшало время формирования первого пика спонтанной генерации первичных радикалов ( $P < 0,01$ ). При воздействии дозы в 500 мГр на пробы крови первый пик ХЛ-реакции был образован на 28,72 мин. позже, чем в контрольных образцах ( $P < 0,05$ ). Время формирования второго пика спонтанной генерации первичных радикалов не изменялось при облучении и в среднем приходилось на 142,4±4,7 мин, что соответствовало статистическому диапазону изменчивости контрольных величин 138,65±4,0 мин.

При активации клеток частицами латекса в присутствии люцигенина при облучении в дозах 5 мГр и 50 мГр формирование первого пика происходило достоверно быстрее, чем в пробах контроля ( $P < 0,01$ ). При дозе 500 мГр замедлялось формирование первого пика антигенактивированной хемилюминесцентной продукции первичных радикалов на 24,82 мин или в 1,8 раза относительно контрольных значений ( $P < 0,05$ ), аналогичная

реакция установлена в реакции спонтанной генерации люцигенинзависимых радикалов. При облучении проб в дозе 5 мГр формирование второго пика антигенактивированной генерации первичных радикалов происходило быстрее на 24,8 мин ( $P < 0,001$ ) по сравнению с контрольными данными. При облучении в дозе 50 мГр и 500 мГр время образования второго максимума активированной ХЛ-реакции соответствовало доверительному интервалу контрольных значений.

Облучение «in vitro» образцов крови коров в дозе 50 мГр (табл. 2) ускорило на 9,5 мин образование первого пика спонтанной генерации вторичных радикалов относительно данных контроля ( $P < 0,01$ ). При воздействии дозы в 500 мГр выявлена тенденция к замедлению времени формирования первого пика спонтанной продукции вторичных радикалов. Время формирования  $T_{max}$  (II) при спонтанной генерации люминолзависимых АФК при облучении не изменялось относительно контрольных величин.

Таблица 2 – Время достижения пиков генерации вторичных АФК при облучении проб крови «in vitro»

Поглощенная доза, мГр	Спонтанная генерация		Активированная генерация	
	$T_{max}$ (I), мин	$T_{max}$ (II), мин	$T_{max}$ (I), мин	$T_{max}$ (II), мин
контроль (n=42)	24,64±2,8	148,28±2,9	31,18±3,8	117,92±2,7
5 (n=22)	21,53±3,2	148,80±0,6	19,93±0,8**	110,00±3,3
50 (n=17)	15,17±1,4**	138,83±10,3	19,00±2,7*	113,00±3,9
500 (n=18)	31,00±4,7	151,57±4,5	41,63±10,6	112,50±6,9

При поглощенных дозах 5 мГр и 50 мГр потенцирования клеток периферической крови частицами латекса в присутствии люминола формирование первого пика происходило достоверно быстрее, чем в пробах контроля. Для формирования первого пика активированной генерации вторичных АФК при дозе 5 мГр требовалось на 11,3 мин ( $P < 0,01$ ), при дозе 50 мГр на 12,2 мин ( $P < 0,05$ ) меньше, чем в пробах контрольной группы. При дозе 500 мГр установлена тенденция к замедлению формирования первого пика антигенактивированной продукции вторичных радикалов. Облучение не влияло на показатели времени достижения формирования второго максимума спонтанной и активи-

зированной продукции вторичных АФК.

Определено уменьшение значений максимальной активности  $I_{max}$  I спонтанной генерации люцигенинзависимых радикалов при поглощенной дозе 500 мГр на 34,7 % или в 1,5 раза ( $P < 0,05$ ) по сравнению с контролем (табл. 3). При дозе 500 не выявлено изменений в максимальной активности вторых пиков ( $I_{max}$  II) спонтанной генерации первичных АФК по сравнению с контрольными значениями. При облучении «in vitro» проб крови в дозе 5 мГр и 50 мГр максимальная интенсивность первых и вторых пиков спонтанной генерации первичных радикалов не отличалась от данных контроля.

Таблица 3 – Максимальная интенсивность продукции первичных АФК при облучении «in vitro» крови

Поглощенная доза, мГр	Количество проб	$I_{max}$ I, имп./с	$I_{max}$ II, имп./с
Спонтанная генерация			
контроль	42	553,75±62,3	445,00±65,0
5	22	701,08±75,6	310,00±54,6
50	17	415,60±92,6	238,50±86,2
500	18	361,63±59,5*	521,13±78,9
Активированная генерация			
контроль	42	756,35±90,0	673,45±67,4
5	22	1244,38±84,0***	1007,85±94,8**
50	17	935,00±125,9	681,50±79,7
500	18	420,29±80,4**	436,43±37,7**



Установлено снижение максимальной интенсивности первого и второго максимума антигенактивированной генерации первичных АФК при воздействии «in vitro» ионизирующего излучения в дозе 500 мГр по сравнению с контрольными данными. Тогда как при поглощенной дозе 5 мГр установлено увеличение максимальной интенсивности первого пика на 488,1 имп./с. или в 1,6 раза ( $P < 0,001$ ) и второго максимума на 334,4 имп./с. или в 1,5 раза ( $P < 0,01$ ) антигенактивированной продукции люцигенинзависимых радикалов по сравнению с данными контроля. Воздействие ионизирующего излучения в дозе 500 мГр вызвало снижение максимальной интенсивности ХЛ-реакции, значение  $I_{\max I}$  снижалось на 44,4 % или в 1,8 раза, величина  $I_{\max II}$  уменьшилась на 35,2 % или в 1,5 раза относительно контрольных

величин ( $P < 0,01$ ).

Установлено достоверное снижение высоты первого максимума ( $I_{\max I}$ , имп./с) спонтанной генерации вторичных АФК в крови у животных при дозе облучения 50 и 500 мГр по сравнению с данными контроля (табл. 4). При дозе 5 мГр не изменялась высота амплитуды первого и второго максимума спонтанной генерации вторичных АФК. Внешнее облучение проб крови в поглощенной дозе 50 мГр уменьшало значение  $I_{\max I}$  на 294,9 имп./с или на 48,3 % ( $P < 0,01$ ), в дозе 500 мГр – на 290 имп./с или на 49,2 % относительно данных контроля ( $P < 0,05$ ). При этих дозах не установлено различий по амплитуде максимальной интенсивности второго пика ХЛ-реакции спонтанного образования вторичных радикалов.

Таблица 4 – Максимальная интенсивность генерации вторичных АФК при облучении проб крови «in vitro»

Поглощенная доза, мГр	Количество проб	$I_{\max I}$ , имп./с	$I_{\max II}$ , имп./с
Спонтанная генерация			
контроль	42	570,16±91,2	463,92±73,6
5	22	583,47±81,7	325,40±54,5
50	17	275,20±54,1**	259,00±77,1
500	18	280,57±66,6*	325,50±65,4
Активированная генерация			
контроль	42	1826,68±179,6	1093,10±100,2
5	22	3025,27±171,3***	1359,20±180,1
50	17	2536,60±131,7	1077,00±265,5
500	18	2492,67±550,9	1039,63±190,4

При поглощенной дозе 5 мГр зарегистрирован рост показателя  $I_{\max I}$  активированной генерации люминолзависимых АФК в 1,7 раза или на 1198,6 имп./с относительно данных контроля ( $P < 0,01$ ), при этом значение  $I_{\max II}$  не отличалось от данных контроля. При воздействии ионизирующего излучения в дозах 50 мГр и 500 мГр значение  $I_{\max I}$  и  $I_{\max II}$  активированного образования вторичных АФК не изменялось относительно контрольных величин.

Суммарное количество спонтанно образованных первичных АФК ( $S$ , млн имп. за 180 мин.) при дозе 50 мГр снижалось в 1,9 раза или на 1,62 млн имп./180 мин ( $P < 0,01$ ) относительно данных контроля (табл.5). При облучении образцов крови в дозе 5 мГр количество первичных АФК антигенактивированной ХЛ-реакции возрастало в 1,7 раза или на 3,74 млн имп./180 мин ( $P < 0,001$ ) по сравнению с контрольными показателями.

Таблица 5 – Светосумма АФК продуцированных клетками крови при воздействии «in vitro» гамма-излучения

Поглощенная доза, мГр	Количество проб	Спонтанная генерация	Активированная генерация
Первичные АФК			
контроль	42	3,50±0,37	5,70±0,57
5	22	3,44±0,54	9,44±0,66***
50	17	1,88±0,37**	7,06±1,01
500	18	3,46±0,41	4,36±0,86
Вторичные АФК			
контроль	42	3,46±0,48	10,70±0,93
5	22	2,63±0,37	14,30±1,10*
50	17	2,13±0,39	11,00±1,71
500	18	2,78±0,56	11,70±2,60



При активации клеток крови путем введения латекса в пробы, подвергнутые облучению в дозе 5 мГр, увеличивалась суммарная продукция вторичных радикалов в 1,3 раза или на 3,6 млн имп./180 мин. относительно данных контроля ( $P < 0,05$ ). Аналогичное повышение при этой дозе регистрировалась при генерации антигенактивированной продукции первичных радикалов. Суммарное количество вторичных АФК, образованных спонтанно при внешнем гамма-облучении «in vitro» образцов периферической крови в дозах 50 мГр и 500 мГр, находилось в одном интервале изменчивости и статистически не различалось по сравнению с контрольными данными (табл. 5).

Введение частиц латекса достоверно увеличивало продукцию первичных радикалов, при дозах 5 и 50 мГр антигенное иницирование клеток пе-

риферической крови «in vitro» частицами латекса усиливает активацию прооксидантных реакций. Увеличение количества первичных радикалов являлось доказательством реактивности клеток периферической крови животных. Соответственно можно заключить, что облучение в дозе 5 и 50 мГр оказывало стимулирующее действие на клетки крови, тогда как доза в 500 мГр не потенцировала ожидаемую генерацию АФК при воздействии антигена, что является свидетельством снижения реактивности клеток периферической крови.

Индекс активации (ИА, усл.ед.) был рассчитан на основании полученных данных, он показывает возможность клеток периферической крови к генерации свободных радикалов в ответ на антигенное воздействие «in vitro» (рис.).

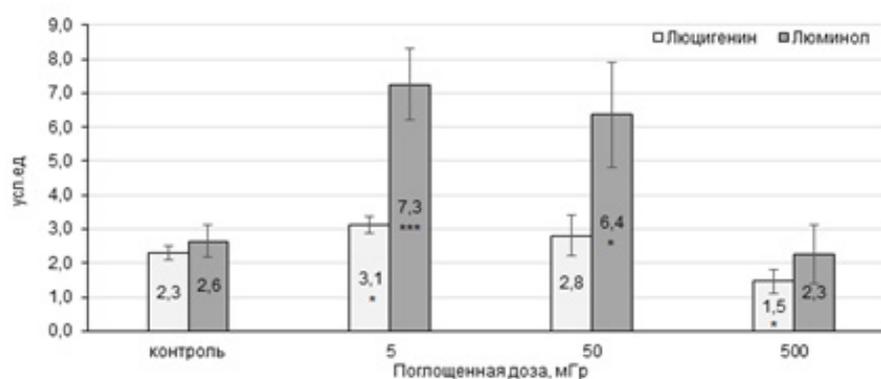


Рис. – Индекс активации клеток крови коров при облучении «in vitro», \* $P < 0,05$ ; \*\*\* $P < 0,001$  в отношении к контрольным показателям

Fig. - The index of activation of blood cells of cows during irradiation "in vitro", \* –  $P < 0.05$ ; \*\*\* –  $P < 0.001$  in relation to control indicators

На основании анализа данных и рисунка можно заключить, что доза 5 мГр оказывает стимулирующее действие на способность клеток к генерации первичных и вторичных радикалов. Доза ионизирующего излучения в 50 мГр увеличивает генерацию вторичных радикалов. Облучение в дозе 500 мГр в пробах периферической крови ингибирует реакционную способность клеток крови к генерации первичных радикалов.

#### Заключение

В результате хемилюминесцентного анализа установлено, что дозы ионизирующего излучения в 5 мГр, 50 мГр и 500 мГр изменяли хемилюминесцентные характеристики проб периферической крови лактирующих коров.

При дозе в 5 мГр ускорялось время формирования первого, второго пиков активированной генерации первичных АФК и время первого пика активированной ХЛ-реакции образования вторичных радикалов, при этом увеличивалась максимальная интенсивность первого и второго пиков антигенактивированной продукции первичных радикалов и первого максимума при активированной генерации вторичных радикалов. Соответственно, в периферической крови возрастало количество антигенактивированной продукции первичных и вторичных радикалов, в этом случае рост количе-

ства АФК демонстрирует высокую реактивность клеток крови животных. На основании полученных данных можно резюмировать, что поглощенная доза в 5 мГр стимулирующе действовала на клетки периферической крови.

Доза в 50 мГр так же, как и облучение в 5 мГр, приближала время образования пиков ХЛ-реакции, при этой дозе формирование первого пика спонтанной и активированной генерации первичных и вторичных радикалов происходило быстрее, чем в контрольных пробах. Однако облучение в дозе 50 мГр снижало амплитуду максимальной интенсивности первого пика спонтанной генерации вторичных радикалов, в связи с этим снижалось количество спонтанно образованных первичных радикалов. Уменьшение количества спонтанно образованных первичных АФК является негативным показателем реактивности клеток крови, так как недостаточное количество именно первичных АФК снижает защитные способности клеток.

Доза в 500 мГр замедляла формирование первого пика спонтанной и активированной генерации первичных АФК, снижала максимальную интенсивность первого пика спонтанной и всех пиков антигенактивированной генерации первичных радикалов, уменьшала амплитуду первого пика



спонтанного образования вторичных радикалов. При этой дозе в периферической крови не происходило потенцирование к образованию АФК при воздействии антигена, что являлось свидетельством снижения иммунореактивности клеток периферической крови. Доза в 500 мГр ингибировала реакционную способность клеток крови к генерации первичных радикалов.

#### Благодарности (Acknowledgements)

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 23-26-10018, Красноярского краевого фонда науки «Прогнозирование реакции сельскохозяйственных животных на низкоинтенсивную радиацию и применение радиопротекторов. Экспрессный биолюминесцентный скрининг радиобиологических эффектов».

#### Список источников

1. Doss M. Are we approaching the end of the linear no-threshold era? *J Nucl Med* 2018. 59:1786-93.

2. Сидоров В. В., Мингазова Э. Н., Бушманов А. Ю., Юсупова М. М., Мингазов Р. Н. К вопросу о влиянии радиоактивных веществ на здоровье населения и контрмерах при радиационном облучении как общемировой проблеме (обзор литературы). *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2022; 30(5): 771-775. DOI:10.32687/0869-866

3. Возможность адаптации к малым дозам радиации /под ред. А.В. Аклеева – Санкт-Петербург: СпецЛит, 2019. – 111с.

4. Devic C., Ferlazzo M. L., Foray N. Influence of individual radiosensitivity on the adaptive response phenomenon: toward a mechanistic explanation based on the nucleo-shuttling of ATM Protein // *Dose-Response*. – 2018. – Vol. 16. – No. 3. – P. DOI: 10.1177/1559325818789836

5. Vaiserman A, Cuttler JM, Socol Y. Low-dose ionizing radiation as a hormetin: experimental observations and therapeutic perspective for age-related disorders. *Biogerontology*. 2021;22(2):145-164. DOI: 10.1007/s10 522-020-09908-5.

6. Jargin SV. Hormesis and radiation safety norms: Comments for an update. *Hum Exp Toxicol*. 2018;37(11):1233-1243. DOI: 10.1177/0960327118765332.

7. Shibamoto Y., Nakamura H. Overview of biological, epidemiological, and clinical evidence of radiation hormesis // *International journal of molecular sciences*. – 2018. – Vol. 19. – No. 8. – P. 2387. DOI: 10.3390/ijms19082387

8. Протас А. Ф. Активность антиоксидантных ферментов и уровень свободнорадикальных процессов в ядрах клеток нейронов при низких дозах облучения // *Биополимеры и клетка*. 1996. Т. 12. No 3 С. 47-53.

9. Alesina M.U. The formation of radio biological effects under chronic internal and external radiation in low doses of experimental animals /M.U. Alesina //

*International magazine of radiation medicine*. – 1999. – Т. 2. – С. 92-99.

10. Серкиз Я. И. Хемилюминесцентные свойства крови как показатель тяжести радиационных повреждений, вызванных быстрыми нейтронами: дис. док. биол.наук: 03.00.01: / Саркиз Ярослав Иванович. – Киев, 1983. – 388 с.

11. Дюкина А.Р., Заичкина С.И., Розанова О.М. и др. Влияние инфракрасного и рентгеновского излучений на продукцию активных форм кислорода в крови и индукцию цитогенетических повреждений в костном мозге мышей in vivo / А.Р. Дюкина, С.И. Заичкина, О.М. Розанова, С.П. Романченко, В.Н. Мальцев, Г.Ф. Аптикаева // *Радиационная биология. Радиозкология*. 2011. Том 51, №5. С 536-541

12. Shimura N., Kojima S. The lowest radiation dose having molecular changes in the living body // *Dose Resp*. 2018. V. 16. № 2. P. 1–7. DOI: 10.1177/1559325818777326

13. Абрамова М.С., Конькова М.С., Момот В.Ю., Кальянов А.А. Молекулярный ответ фибробластов кожи человека с мутацией m.14441 T>C на воздействие ионизирующего излучения в малых и средних дозах. *Медицинская генетика* 2020; 19(9): 91-93. DOI: 10.25557/2073-7998.2020.09.91-93

14. Земсков В.М., Барсуков А.А., Гнатенко Д.А. и др. Фундаментальные и прикладные аспекты анализа кислородного метаболизма фагоцитарных клеток // *Успехи современной биологии*. – 2013. – том 133. – № 5. – С. 469–480.

15. Vladimirov Yu.A. Free radicals and cell chemiluminescence / Yu.A. Vladimirov, E.V. Proskurnina Vladimirov U.A., Proskurnina E.V. // *Biochemistry (Moscow)*. – 2009. – Т. 74. – № 13. – С. 1545-1566. DOI: 10.1134/s0006297909130082

16. Yang G., Yu D., Li W. et al. Distinct biological effects of lowdose radiation on normal and cancerous human lung cells are mediated by ATM signaling // *Oncotarget*. 2016a. V. 7. № 44. P. 71856–71872. DOI: 10.18632/oncotarget.12379

17. Услащик В.С. Активные формы кислорода, антиоксиданты и действие лечебных и физических факторов // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры* 2013. 1. С.60-69.

18. Агаева Е. В., Петров В. Н., Конопляников А.Г., Лепехина Л. А., Саяпина Е. В., Поповкина О. Е. Особенности влияния облученных костномозговых мезенхимных стромальных клеток на продукцию макрофагами цитокинов и активных форм кислорода // *Радиационная биология. Радиозкология*. 2019. Т.59. №4, С 377-387. DOI: 10.1134/S0869803119040040

19. Федотова А. С. Особенности расчета поглощенных доз облучения для крупного рогатого скота в условиях Красноярского края / А.С. Федотова // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 12 (215). С. 77–86. DOI:10.32417/1997-4868-2021-215-12-77-86.

#### References

1. Doss M. *Priblizhaemysya li my k kontsu lineynoy besporogovoy ery?* *J Nucl Med* 2018. 59:1786-93
2. Sidorov V. V., Mingazova E. N., Bushmanov A. Yu., Yusupova M. M., Mingazov R. N. *K voprosu o vliyaniy radioaktivnykh veshchestv na zdorov'e naseleniya i kontrmerakh pri radiatsionnom obluchenii kak*



obshchemirovoy probleme (obzor literatury). *Problemy sotsial'noy gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*. 2022; 30(5): 771-775. DOI:10.32687/0869-866

3. *Vozmozhnost' adaptatsii k malym dozam radiatsii /pod red. A.V. Akleeva – Sankt-Peterburg: SpetsLit, 2019. – 111s.*

4. *Devic C., Ferlazzo M. L., Foray N. Influence of individual radiosensitivity on the adaptive response phenomenon: toward a mechanistic explanation based on the nucleo-shuttling of ATM Protein // Dose-Response. – 2018. – Vol. 16. – No. 3. – P. DOI: 10.1177/1559325818789836*

5. *Vaiserman A, Cuttler JM, Socol Y. Low-dose ionizing radiation as a hormetin: experimental observations and therapeutic perspective for age-related disorders. Biogerontology. 2021;22(2):145-164. DOI: 10.1007/s10522-020-09908-5.*

6. *Jargin SV. Hormesis and radiation safety norms: Comments for an update. Hum Exp Toxicol. 2018;37(11):1233-1243. DOI: 10.1177/0960327118765332.*

7. *Shibamoto Y., Nakamura H. Overview of biological, epidemiological, and clinical evidence of radiation hormesis // International journal of molecular sciences. – 2018. – Vol. 19. – No. 8. – P. 2387. DOI: 10.3390/ijms19082387*

8. *Protas A. F. Aktivnost' antioksidantnykh fermentov i uroven' svobodnoradikal'nykh protsessov v yadrah kletok neyronov pri nizkikh dozakh oblucheniya // Biopolimery i kletka. 1996. T. 12. No 3 S. 47-53.*

9. *Alesina M.U. The formation of radio biological effects under chronic internal and external radiation in low doses of experimental animals /M.U. Alesina // International magazine of radiation medicine. – 1999. – T. 2. – S. 92-99.*

10. *Serkiz Ya. I. Khemilyuminestnyye svoystva krovi kak pokazatel' tyazhesti radiatsionnykh povrezhdeniy, vyzvannykh bystryimi neytronami: dis. dok. biol.nauk: 03.00.01: / Sarkiz Yaroslav Ivanovich. – Kiev, 1983. – 388 s.*

11. *Dyukina A.R., Zaichkina S.I., Rozanova O.M. i dr. Vliyanie infrakrasnogo i rentgenovskogo izlucheniya na produktsiyu aktivnykh form kisloroda v krovi i induktsiyu tsitogeneticheskikh povrezhdeniy v kostnom mozge myshey in vivo /A.R. Dyukina, S.I. Zaichkina, O.M. Rozanova, S.P. Romanchenko, V.N. Mal'tsev, G.F. Aptikaeva // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 2011. Tom 51, №5. S 536-541*

12. *Shimura N., Kojima S. The lowest radiation dose having molecular changes in the living body // Dose Resp. 2018. V. 16. № 2. P. 1–7. DOI: 10.1177/1559325818777326*

13. *Abramova M.S., Kon'kova M.S., Momot V.Yu., Kal'yanov A.A. Molekulyarnyy otvet fibroblastov kozhi cheloveka s mutatsiyey m.14441 T>C na vozdeystvie ioniziruyushchego izlucheniya v malyykh i srednikh dozakh. Meditsinskaya genetika 2020; 19(9): 91-93. DOI: 10.25557/2073-7998.2020.09.91-93*

14. *Zemskov V.M., Barsukov A.A., Gnatenko D.A. i dr. Fundamental'nye i prikladnye aspekty analiza kislorodnogo metabolizma fagotsitarnykh kletok // Uspekhi sovremennoy biologiyu. – 2013. – tom 133. – № 5. – S. 469–480.*

15. *Vladimirov Yu.A. Free radicals and cell chemiluminescence / Yu.A. Vladimirov, E.V. Proskurnina Vladimirov U.A., Proskurnina E.V. // Biochemistry (Moscow). – 2009. – T. 74. – № 13. – S. 1545-1566. DOI: 10.1134/s0006297909130082*

16. *Yang G., Yu D., Li W. et al. Distinct biological effects of lowdose radiation on normal and cancerous human lung cells are mediated by ATM signaling // Oncotarget. 2016a. V. 7. № 44. P. 71856–71872. DOI: 10.18632/oncotarget.12379*

17. *Uslashchik V.S. Aktivnye formy kisloroda, antioksidanty i deystvie lechebnykh i fizicheskikh faktorov // Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury 2013. 1. S.60-69.*

18. *Agaeva E. V., Petrov V. N., Konoplyannikov A.G., Lepekhina L. A., Sayapina E. V., Popovkina O. E. Osobennosti vliyaniya obluchennykh kostnomozgovykh mezenkhimnykh stromal'nykh kletok na produktsiyu makrofagami tsitokinov i aktivnykh form kisloroda // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 2019. T.59. №4, S 377-387. DOI: 10.1134/S0869803119040040.*

19. *Fedotova A. S. Osobennosti rascheta pogloshchennykh doz oblucheniya dlya krupnogo rogatogo skota v usloviyakh Krasnoyarskogo kraya / A.S. Fedotova // Agrarnyy vestnik Urala. 2021. № 12 (215). S. 77–86. DOI:10.32417/1997-4868-2021-215-12-77-86.*

#### Информация об авторе

**Федотова Арина Сергеевна**, канд. биол. наук, доцент кафедры внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии с.-х. животных, ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск, Россия, [krasfas@mail.ru](mailto:krasfas@mail.ru)

#### Author information

**Fedotova Arina Sergeevna**, PhD of Biological Sciences, Associate Professor at the Department, FSEI HPE Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia, [krasfas@mail.ru](mailto:krasfas@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 24.08.2023; одобрена после рецензирования 04.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 24.08.2023; approved after reviewing 04.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.



Вестник РГАТУ, 2023, т 15, № 3, с. 54-60  
Vestnik RGATU, 2023, Vol.15, № 3, pp 54-60

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 636.2.034  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.18.84.008

### ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СОДЕРЖАНИЯ НА ВЫРАЩИВАНИЕ ТЕЛЯТ ГРУППЫ 0-3 В УСЛОВИЯХ УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ХОЗЯЙСТВА

Татьяна Анатольевна Хорошайло <sup>1</sup>✉, Алексей Сергеевич Козубов <sup>2</sup>, Полина Валерьевна Ким <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

<sup>1,3</sup> tatyana\_zabai@mail.ru  
<sup>2</sup> ewakozubov@yandex.ru

#### Аннотация.

**Проблема и цель.** Целью исследований явилось определение эффективности выращивания телят группы 0-3 в клетках телятника и индивидуальных домиках на свежем воздухе.

**Методология.** Основываясь на методе пар-аналогов, отбирались 20 телочек голштинской породы по 10 голов в каждую из двух групп. Животные контрольной группы содержались в клетках с момента рождения до трехмесячного возраста, а опытной – в том же временном диапазоне в индивидуальных домиках, образующих телячью деревню. Процесс выращивания был организован согласно документу «Регламент выращивания молодняка крупного рогатого скота на предприятиях» УОХ «Кубань» в период с февраля по май 2023 года. Контроль за продуктивными качествами подопытных животных осуществляли с помощью весов, проводя взвешивания при: рождении, достижении одно- двух- трехмесячного возраста. Периодический весовой контроль осуществляли согласно ГОСТ 25967-83 «Животные племенные сельскохозяйственные. Методы определения параметров продуктивности мясного направления», соблюдая требования ко времени взвешивания и кондиции животных. Исходя из полученных результатов, математическими методами рассчитывали приросты живой массы (среднесуточные, абсолютные), а также выводили коэффициенты роста. Микроклимат мест содержания подопытных групп определяли прибором СЕМ DN-321.

**Результаты.** Живая масса новорожденных животных в обеих группах составляла  $33,8 \pm 1,02$  кг и  $33,9 \pm 1,07$ , что говорит о достаточно низком расхождении. В возрасте одного месяца телочки опытной группы, содержащиеся в домиках, весили на 6,2 кг больше животных контрольной группы. Разница по первому порогу достоверности составила 8,8 процента. К двухмесячному возрасту животные опытной группы имели вес  $89,3 \pm 2,22$  кг ( $P \geq 0,999$ ). Превосходство над животными контрольной группы составило 4,5 кг (5,3 %). К концу контрольного выращивания живая масса телят, выращенных в разных условиях, имела еще большую разницу. Она составил 7,0 кг (6,8 %,  $P \geq 0,95$ ). За весь период телки опытной группы дали абсолютного прироста 75,4 кг, контрольной – 68,5 кг (разница 6,9 кг). У телочек контрольной группы ежесуточный прирост в среднем за время исследований составил 761 г, опытной – 837 г. Важно отметить, что коэффициент роста массы животных в ходе исследования снижался. Телочки опытной группы имели наивысший коэффициент роста массы, который составлял 1,9; 1,4; 1,2 соответственно первому, второму и третьему месяцам. При контроле микроклимата в период исследований установлено, что в индивидуальных домиках температура была более благоприятной, чем в телятнике, и составляла  $14,9 \pm 0,340$  С и  $12,9 \pm 0,55$ ° С соответственно. Влажность превышала нормативные показатели в связи с выпадением осадков на территории хозяйства. Скорость движения воздуха в индивидуальных домиках и телятнике не превышала норму.

**Заключение.** Приобретение индивидуальных домиков и выращивание в них телок голштинской по-



роды в возрасте 0-3 месяцев в подразделении Кубанского ГАУ – УОХ «Кубань» обусловило оптимальные результаты. Исследования по данной теме продолжаются и будут опубликованы.

**Ключевые слова:** телята, выращивание, условия, домики, клетки, живая масса

**Для цитирования:** Хорошайло Т.А., Козубов А.С., Ким П.В. Влияние условий содержания на выращивание телят группы 0-3 в условиях учебно-опытного хозяйства // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т.15, № 3. С. 54-60 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.18.84.008>

Original article

## THE INFLUENCE OF HOUSING CONDITIONS ON THE REARING OF CALVES OF GROUP 0–3 IN THE CONDITIONS OF A TRAINING AND EXPERIMENTAL FARM

Tatiana A. Khoroshailo <sup>1</sup>✉, Alexey S. Kozubov <sup>2</sup>, Polina V. Kim <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Kuban state agrarian university named after I. T. Trubilina, Krasnodar, Russia

<sup>1,3</sup> [tatyana\\_zabai@mail.ru](mailto:tatyana_zabai@mail.ru)

<sup>2</sup> [lewakozubov@yandex.ru](mailto:lewakozubov@yandex.ru)

### Abstract.

**Problem and purpose.** The aim of the research was to determine the effectiveness of rearing calves of group 0–3 in calf cages and individual houses in the fresh air.

**Methodology.** 20 Holstein heifers, 10 heads in each group, were selected on the method of pair-analogues. Animals of the control group are kept in cages from the moment of birth to 3 months of age, and the experimental, in the same time period, in natural houses that form a calf village. The cultivation process was organized in accordance with the document "Regulations for the rearing of young cattle at enterprises" of the UOH "Kuban" in the period from 03/01/23 to 05/01/23. Control over the productivity and quality of experimental animals is carried out with the help of scales, weighing at birth, depending on the age of one, two, three months. Periodic weight control of implementation in accordance with GOST 25967-83 "Agricultural livestock. Methods for determining the parameters of the productivity of the meat direction", complies with the requirements for the time of weighing and the condition of the animals.

calculation of income increase, mathematical methods for calculating the increase in living average income (absolute income), The microclimate of the place of detention under the influence of group observations with the CEM DN-321 device.

**Results.** The live weight of newborn calves of both groups was almost the same and amounted to 33.8±1.02 kg and 33.9±1.07. By the age of 1 month, the heifers of the experimental group, kept in houses, exceeded their peers from the control group in live weight by 6.2 kilograms. The difference according to the first confidence threshold was 8.8 percent. By the age of 2 months, the animals of the experimental group weighed 89.3±2.22 kg ( $P \geq 0.999$ ). The superiority was 4.5 kg (5.3%). By the end of the control rearing, the live weight of calves raised under different conditions had an even greater difference. It amounted to 7.0 kg (6.8%,  $P \geq 0.95$ ). For almost all age periods, each month there was a superiority towards the experimental group, with the exception of period 1–2. Over the entire period, the heifers of the experimental group gave an absolute increase of 75.4 kg, the control - 68.5 (difference 6.9 kg). In the heifers of the control group, the average daily gain for the entire period of research was 761 g, and in the experimental group - 837 g. The value of the growth coefficient of the live weight of the experimental heifers decreased with age. When comparing these indicators, it can be seen that over the three periods of weighing animals, the highest growth coefficient was observed in heifers of the experimental group: in the 1st month - 1.9; in the second - 1.4; in the third - 1.2. The study of the microclimate in the spring period of research under different conditions of detention determined that the most optimal temperature was observed in individual houses - 14.9±0.34 °C compared with the temperature in the calf barn - 12.9±0.55 °C. The air humidity in both the houses and the cages was above the norm, because when taking these indicators, there was precipitation in the form of rain. The air velocity was normal in different rooms.

**Conclusion.** The purchase of individual houses and the cultivation of Holstein heifers at the age of 0–3 months in them at the Kuban training and experimental farm of the Kuban State Agrarian University determined the optimal results. Research on this topic is ongoing and will be published in the following sources.

**Key words:** calves, rearing, conditions, houses, cages, live weight

**For citation:** Khoroshailo T.A., Kozubov A.S., Kim P.V. The influence of housing conditions on the rearing of calves of group 0–3 in the conditions of a training and experimental farm // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. T.15, No 3. P. 54-60 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.18.84.008>



### Введение

Развитие скотоводства и переход к промышленному подходу значительно изменили условия содержания животных. Исследования показали, что изменение внешних условий приводит к изменению поведения и активности организма животных, особенно при рождении [2]. Изучение причин изменчивости сельскохозяйственных животных позволяет оценить, насколько подходящие условия для их выращивания используются в различных хозяйствах, а также разрабатывать более рациональные и экономически эффективные системы взаимодействия среды и организма, включая технические инструменты, факторы питания и другие аспекты промышленной технологии [6]. С развитием сельского хозяйства специалисты-практики и ученые совместными усилиями в течение длительного времени изучали способы управления ростом животных и адаптировали их для того, чтобы найти наиболее рациональные методы и приемы формирования продуктивных качеств у животных [9, 11].

Сравнение способов выращивания телят группы 0-3 месяцев в индивидуальных пластмассовых домиках и в телятниках является важной темой исследования в области скотоводства. Оба метода содержания имеют свои преимущества и недостатки, и их сравнение поможет определить наиболее эффективный и экономически выгодный способ. Индивидуальные пластмассовые домики обычно имеют достаточное пространство для движения и предоставляют защиту от сильного ветра и непогоды. Они обладают хорошей теплоизоляцией, что особенно важно во время холодного зимнего сезона. Индивидуальные пластмассовые домики облегчают контроль над кормлением и ветеринарным обслуживанием телят.

С другой стороны, телятники представляют собой большие навесные строения, где телята содержатся в группе. Этот метод содержания позволяет телятам социализироваться и развивать навыки социального взаимодействия. В телятниках равномерно распределяется тепло, что способствует созданию комфортных условий для телят. Кроме того, они предоставляют удобный доступ к кормовому столу и воде для всех телят в группе.

### Материалы и методы исследования

В 2022 году в подразделение Кубанского ГАУ – УОХ «Кубань», были приобретены пластиковые

домики для содержания новорожденных телят на открытом воздухе. В связи с этим целью нашего исследования было определение эффективности их использования для выращивания телят возрастной группы 0-3 в качестве альтернативы клеткам в телятниках. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи: определение условий содержания молодняка, измерение живой массы и ее роста, определение параметров микроклимата в помещениях. Для проведения исследования были сформированы контрольная и опытная группы, отобраны 20 телочек голштинской породы по 10 голов в каждую группу. Первая группа (контрольная) состояла из телочек, рожденных и выращиваемых в телятнике до трехмесячного возраста, а вторая группа (опытная) состояла из телочек, содержащихся сразу после рождения в отдельных домиках на свежем воздухе. Выращивание телочек в обеих группах проводилось в соответствии с «Регламентом выращивания телят на предприятиях» в учебно-опытном хозяйстве «Кубань» с марта по май 2023 года. Продуктивные характеристики телочек определялись по динамике роста живой массы с использованием периодических взвешиваний согласно нормативному документу ГОСТ 25967–83 «Животные племенные, сельскохозяйственные. Методы определения параметров продуктивности мясного направления» [1]. Взвешивания проводились при рождении, а также в возрасте одного, двух и трех месяцев, с соблюдением требований ко времени взвешивания и кондиции животных. По полученным результатам математическими методами рассчитывали приросты живой массы (среднесуточные, абсолютные), а также выводили коэффициенты роста. Микроклимат мест содержания подопытных групп определяли прибором СЕМ DN-321.

### Результаты исследований и их обсуждение

Генетические особенности различных пород крупного рогатого скота обуславливают различный вес у новорожденных телят. Существует закономерность, что небольшие телята становятся более крупными и продуктивными во взрослом возрасте в сравнении с крупными при рождении особями [8]. Результаты нашего исследования показывают различия в развитии подопытных животных в зависимости от условий содержания. Изменения живой массы телочек опытной и контрольной групп приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика изменения живой массы подопытных животных с возрастом, кг,  $M \pm m$

Возраст, мес	Группа, n=10	
	контрольная	опытная
При рождении	33,8±1,02	33,9±1,07
1	57,6±2,04	63,8±2,11*
2	84,8±1,89	89,3±2,22*
3	102,3±2,21	109,3±1,17*

Примечание: \* –  $P \geq 0,95$



Живая масса новорожденных телят обеих групп была практически одинаковой и составляла  $33,8 \pm 1,02$  кг и  $33,9 \pm 1,07$  (табл. 1, рис.). К возрасту одного месяца телочки опытной группы, содер-

жащиеся в домиках, превосходили сверстниц из контрольной группы по живой массе на 6,2 килограмма. Разница по первому порогу достоверности составила 8,8 процента.

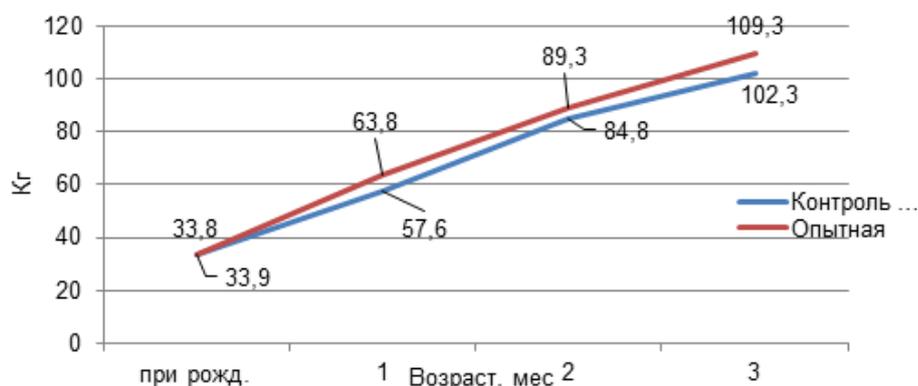


Рис. – Динамика изменения живой массы в группах с возрастом  
Fig. – Dynamics of live weight of experimental animals

Индивидуальное содержание животных в домиках показало оптимальные результаты. Например, к двухмесячному возрасту животные опытной группы достигли наивысшей живой массы, составившей  $89,3 \pm 2,22$  кг ( $P \geq 0,999$ ). В сравнении с другими условиями выращивания это превосходство составило 4,5 кг (5,3 %). Вероятно, телята, выращенные в телятниках, находились в менее

благоприятных условиях. По итогам периода контрольного выращивания разница в живой массе между животными, выращенными в разных условиях, составила 7,0 кг (6,8 %,  $P \geq 0,95$ ). Изменения в абсолютных и среднесуточных приростах живой массы подопытного молодняка представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Динамика приростов живой массы подопытного молодняка

Период, мес	Прирост живой массы			
	абсолютный, кг		среднесуточный, г	
	контрольная	опытная	контрольная	опытная
0-1	24,6	29,9	820	996
1-2	27,2	25,5	906	850
2-3	17,5	20,0	583	666
0-3	68,5	75,4	761	837

Почти по всем возрастным периодам, каждый месяц наблюдалось превосходство в опытной группы, за исключением периода 1-2. Этот период совпал с месяцем март, и, по-видимому, телята, содержащиеся на открытом воздухе, расходовали энергию на обогрев своего организма, так как этот период в Краснодарском крае наиболее холодный. За весь период телки опытной группы дали абсолютный прирост в 75,4 кг, контрольной – 68,5 (6,9 кг). У телочек контрольной группы за период исследований в среднем в сутки прирост составил 761 г, а в опытной – 837 г. Разница – 76 г. В обеих группах подопытные животные в молочный период имели соответствующие нормам для молочных пород крупного рогатого скота приросты живой

массы.

Пластичность всех систем организма, а также повышенные требования к питательности кормов сохраняются у животных с момента рождения и до наступления половой зрелости. Отдельные органы и их системы могут существенно изменять интенсивность своей работы, а также размеры, вследствие чего физиологические процессы, происходящие в результате метаболизма, могут корректироваться. Именно половозрастная группа телят 0-3 обладает наибольшей интенсивностью роста [5,12].

Для детального анализа прироста живой массы среди животных контрольной и опытной групп были выведены коэффициенты их роста (табл. 3)

Таблица 3 – Показатель коэффициента весового роста

Возраст, мес	Группа, n=10	
	контрольная	опытная
1	1,7	1,9
2	1,5	1,4
3	1,2	1,2



Данные таблицы 3 указывают на закономерное снижение коэффициента весового роста у телочек подопытных групп.

С возрастом коэффициент роста живой массы телочек снижается. Анализ показателей веса животных на протяжении трех периодов позволяет заметить, что телочки опытной группы имели наибольший коэффициент роста: 1,9 в первом месяце, 1,4 во втором и 1,2 в третьем. В условиях современного скотоводства большое значение приобретает имплементация зоогигиенических и ветеринарно-санитарных процедур, которые являются неотъемлемой составляющей в технологических циклах производства животноводческой продукции. Без решения общих гигиенических и санитарных вопросов невозможно достичь стабильной работы по повышению продуктивности животных, ведь при возникновении болезней за-

разной или незаразной этиологии основными причинами считаются нарушение условий кормления и содержания. Нестабильные условия микроклимата, частые изменения рационов, а также высокая плотность животных при содержании могут привести к появлению стресса. Согласно многочисленным исследованиям по данной тематике, оптимальные параметры загрязненности воздуха, его температуры и влажности способствуют заметному повышению продуктивности дойных животных (до 12 %) и приростов у телят (до 20 %). Для каждой возрастной группы животных устанавливаются свои нормы параметров микроклимата, которые основываются на их физиологических потребностях и продуктивности.

В таблице 4 представлены параметры микроклимата, которые были изучены в ходе исследований.

Таблица 4 – Параметры микроклимата в телятнике и в домиках в апреле-месяце, М±m

Показатель	Группа		Норма
	контрольная	опытная	
Температура воздуха, °С	12,9±0,55	14,9±0,34	8-16
Влажность воздуха, %	85,8±0,28	92,8,0±1,29*	60-75
Скорость движения воздуха, м/с	0,5±0,30	0,11±0,78	до 1

Исследования, проведенные весной в разных условиях содержания, позволили выявить, что наилучшие результаты в терморегуляции обеспечивали индивидуальные домики. В них была достигнута оптимальная температура воздуха 14,9±0,34° С, что превосходило показатели в телятнике – 12,9±0,55° С. Рекомендуется поддерживать температуру в телятнике в пределах 8-16° С, что соответствует нормам микроклимата для содержания животных. Влажность воздуха в домиках и клетках превышала норму из-за осадков, но скорость движения воздуха соответствовала норме в разных помещениях. Влажность и другие характеристики окружающей среды оказывают значительное влияние на терморегуляцию организма животного, в том числе на его теплоотдачу. Высокая влажность воздуха (85 % и выше) негативно сказывается на организме и теплоотдаче животных как при высоких, так и при низких температурах окружающей среды. Соответственно, создание комфортного микроклимата, который удовлетворяет физиологическим потребностям крупного рогатого скота, является необходимым условием для нормальной жизнедеятельности животных [1,7].

#### Заключение

Сравнение способов выращивания телят группы 0-3 месяца в индивидуальных пластмассовых домиках и телятниках позволяет принять осознанное решение о выборе оптимального метода содержания. Определение наиболее подходящего метода будет зависеть от факторов, таких как размер стада, доступные ресурсы, климатические условия и цели продуктивности. Таким образом,

приобретение индивидуальных домиков и выращивание в них телок голштинской породы в возрасте от ноля до трех месяцев учебно-опытного хозяйства «Кубань» Кубанского ГАУ обусловило оптимальные результаты. Дальнейшие исследования в этой области продолжаются и вскоре они помогут оптимизировать условия содержания телят и повысить эффективность процесса их выращивания. Результаты будут опубликованы в следующих научных работах.

#### Список источников

1. Алексеева Ю.А., Хорошайло Т.А. К вопросу совершенствования продуктивных и технологических качеств черно-пестрого скота // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (64). С. 127-130. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44848971>
2. Анисимова Е.И., Гостева Е.Р. Особенности выращивания телят в молочный период // Саратов, 2017. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30081488>
3. ГОСТ 25967–83 «Животные племенные, сельскохозяйственные. Методы определения параметров продуктивности мясного направления».
4. Гугушвили Н.Н., Коцаев А.Г., Сердюченко И.В., Инюкина Т.А. Показатели иммунобиологической реактивности организма крупного рогатого скота при лептоспирозе // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 77. С. 153-160. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38596625>
5. Кудрин М.Р., Ижболдина С.Н., Фефилова Е.А. Технология содержания и кормления телят с соблюдением параметров микроклимата в телятнике



- ке // *Общественные науки*. 2013. № 6. С. 48-55. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23082890>
6. Крупицын В.В., Бурцев С.А. Совершенствование элементов технологии выращивания молодняка крупного рогатого скота с целью повышения адаптационных свойств организма к условиям пониженных температур при холодном способе содержания // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2011. № 3 (30). С. 53–56. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17069960>
7. Кулешова О.С., Лопалева Н.Л. Холодный метод выращивания телят // *Молодежь и наука*. 2022. № 1. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48455171>
8. Петров Н.С., Семенов В.Г. Гигиена выращивания телят в индивидуальных домиках и павильонах в зимний период // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2013. Т. 214. С. 321–326. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19018438>
9. Топурия Г.М., Топурия Л.Ю., Чернокожев А.И. Выращивание телят // *Оренбург*, 2019. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48035221>
10. Толоконцев А. Искусство выращивания телочек // *Животноводство России*. 2020. № 9. С. 46–50. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43895801>
11. Alekseeva Yu.A., Garmaev D.Ts., Khoroshailo T.A., Serdyuchenko I.V. Automated systems application for the advanced cow milking technologies development // В сборнике: *AIP Conference Proceedings*. Krasnoyarsk Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Melville, New York, United States of America, 2021. С. 70036. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47558850>
12. Alekseeva Y.A., Garmaev D.Ts., Khoroshailo T.A., Serdyuchenko I.V. Innovative technologies in the production of curd // В сборнике: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. III International Scientific Conference. Krasnoyarsk, 2021. С. 12084. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46302768>

**Вклад авторов:**

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**References**

1. Alekseeva YU.A., Horoshajlo T.A. K voprosu sovershenstvovaniya produktivnyh i tekhnologicheskikh kachestv cherno-pestrogo skota // *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. № 1 (64). S. 127-130. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44848971>
2. Anisimova E.I., Gosteva E.R. Osobennosti vyrashchivaniya telyat v molochnyj period // *Saratov*, 2017. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30081488>
3. GOST 25967–83 «ZHivotnye plemennye, sel'skohozyajstvennye. Metody opredeleniya parametrov produktivnosti myasnogo napravleniya».
4. Gugushvili N.N., Koshchayev A.G., Serdyuchenko I.V., Inyukina T.A. Pokazateli immunobiologicheskoy reaktivnosti organizma krupnogo rogatogo skota pri leptospiroze // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. № 77. S. 153-160. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38596625>
5. Kudrin M.R., Izhboldina S.N., Fefilova E.A. Tekhnologiya soderzhaniya i kormleniya telyat s soblyudeniem parametrov mikroklimata v telyatnike // *Obshchestvennye nauki*. 2013. № 6. S. 48-55. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23082890>
6. Krupicyn V.V., Burcev S.A. Sovershenstvovanie elementov tekhnologii vyrashchivaniya molodnyaka krupnogo rogatogo skota s cel'yu povysheniya adaptacionnyh svojstv organizma k usloviyam ponizhennyh temperatur pri holodnom sposobe soderzhaniya // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011. № 3 (30). S. 53–56. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17069960>
7. Kuleshova O.S., Lopaeva N.L. Holodnyj metod vyrashchivaniya telyat // *Molodezh' i nauka*. 2022. № 1. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48455171>
8. Petrov N.S., Semenov V.G. Gigiena vyrashchivaniya telyat v individual'nyh domikah i pavil'onah v zimnij period // *Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.E. Baumana*. 2013. Т. 214. S. 321–326. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19018438>
9. Topuriya G.M., Topuriya L.YU., Chernokozhev A.I. Vyrashchivanie telyat // *Orenburg*, 2019. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48035221>
10. Tolokoncev A. Iskusstvo vyrashchivaniya telochek // *ZHivotnovodstvo Rossii*. 2020. № 9. S. 46–50. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43895801>
11. Alekseeva Yu.A., Garmaev D.Ts., Khoroshailo T.A., Serdyuchenko I.V. Automated systems application for the advanced cow milking technologies development // В сборнике: *AIP Conference Proceedings*. Krasnoyarsk Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Melville, New York, United States of America, 2021. S. 70036. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47558850>
12. Alekseeva Y.A., Garmaev D.Ts., Khoroshailo T.A., Serdyuchenko I.V. Innovative technologies in the production of curd // В сборнике: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. III International Scientific Conference. Krasnoyarsk, 2021. S. 12084. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46302768>



*Contribution of the authors:*

*All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

#### **Информация об авторах**

**Хорошайло Татьяна Анатольевна**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры частной зоотехнии и свиноводства, [tatyana\\_zabai@mail.ru](mailto:tatyana_zabai@mail.ru). Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

**Козубов Алексей Сергеевич**, аспирант 1 курса факультета пищевых производств и биотехнологий, [lewakozubov@yandex.ru](mailto:lewakozubov@yandex.ru). Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

**Ким Полина Валерьевна**, магистрант 2 курса факультета зоотехнии, [tatyana\\_zabai@mail.ru](mailto:tatyana_zabai@mail.ru). Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

#### **Author information**

**Khoroshailo Tatiana A.**, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of private animal science and pig breeding, Kuban state agrarian university named after I.T. Trubilina, [tatyana\\_zabai@mail.ru](mailto:tatyana_zabai@mail.ru)

**Kozubov Aleksey S.**, 1st year postgraduate student of the Faculty of Food Production and Biotechnology, [lewakozubov@yandex.ru](mailto:lewakozubov@yandex.ru)

**Kim Polina V.**, 2nd year undergraduate student of the Faculty of Animal Science, Kuban state agrarian university named after I.T. Trubilina, [tatyana\\_zabai@mail.ru](mailto:tatyana_zabai@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 14.08.2023; одобрена после рецензирования 17.08.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 14.08.2023; approved after reviewing 17.08.2023; accepted for publication 20.09.2023.





## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 636.082.12:636.22/.28.033  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.60.53.009

## ПОЛИМОРФИЗМЫ ГЕНА GH И LEP, АССОЦИИРОВАННЫЕ С ПРИЗНАКАМИ РОСТА В ПОПУЛЯЦИИ МЯСНОГО СКОТА КАЛМЫЦКОЙ ПОРОДЫ

**Анатолий Фoaдoвич Шeeхужeeв** <sup>1</sup>✉, **Лариса Николаевна Скорых** <sup>2</sup>, **Ангелина Владимировна Суховеева** <sup>3</sup><sup>1,2,3</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский Федеральный научный аграрный центр», г. Михайловск, Россия<sup>1</sup> shevkhuzhevaf@yandex.ru<sup>2</sup> smu.sniizhk@yandex.ru<sup>3</sup> sukhovey1337@gmail.com**Аннотация.****Проблема и цель.** Целью настоящих исследований явилось изучение полиморфизмов генов гормона роста (GH) и лептина (LEP), анализ их ассоциаций с признаками роста у крупного рогатого скота калмыцкой породы.**Методология.** Основой методологии исследования является проведение молекулярно-генетического тестирования. Для определения наличия аллельного полиморфизма генов гормона роста (GH) и лептина (LEP) использовалась ПЦР-ПДРФ диагностика с последующим анализом длин рестрикционных фрагментов, включающим обработку амплифицированных отрезков ферментами рестриктаз и последующее разделение полученных участков при помощи гель-электрофореза. А также определение влияния обнаруженных точечных мутаций на фенотипические признаки, связанные с величиной живой массы в популяции крупного рогатого скота калмыцкой породы с использованием математико-статистического метода.**Результаты.** С использованием методов ПЦР-ПДРФ анализа ДНК изучены генетические особенности животных калмыцкой породы, влияющие на прижизненные показатели фенотипа, связанные с признаками роста. Исследование участков гена GH позволило выявить в его структуре у скота калмыцкой породы три однонуклеотидных замены (с.457C>G, L127V, T172M). В гене LEP также идентифицировали три однонуклеотидных полиморфизма (с.73T>C, с.196-121C>T, g.92436333G>A). Установлено, что полиморфизмы гена GH имеют по два аллеля А и В с разной частотой встречаемости. По результатам распределения частот аллелей у животных были определены по три генотипа АА, АВ и ВВ в трёх выявленных заменах. Установлено, что среди животных исследуемой популяции наибольшая частота встречаемости оказалась у гетерозиготных АВ генотипов в обнаруженных полиморфизмах с.457C>G, L127V, T172M гена GH, имеющих практически равное значение 42, 41 и 41 % соответственно. Тогда как меньшую частоту встречаемости имели гомозиготные АА и ВВ генотипы в анализируемых позициях (26 и 25; 32 и 32; 34 и 27 % соответственно). Установлено, что выявленные полиморфизмы с.73T>C, с.196-121C>T, g.92436333G>A гена LEP представлены двумя аллелями С и Т, А и G с разной частотой встречаемости. Выявлено, что среди исследуемой группы животных в популяции мясного скота наибольшую частоту встречаемости имел гетерозиготный СТ генотип в полиморфизме с.73T>C, составивший 46,0 %, тогда как гомозиготные особи СС и ТТ генотипа встречались практически в одинаковых соотношениях (29,0 и 25,0). Однако в исследуемой группе животных наиболее часто встречался гомозиготный ТТ генотип в полиморфизме с.196-121C>T, составивший 41,0 %, особи с гетерозиготным СТ генотипом распределились в средних значениях частот встречаемости (34,0 %), тогда как меньшую частоту встречаемости имел гомозиготный СС вариант – 25,0 %. В полиморфизме g.92436333G>A наиболее распространенным был гомозиготный АА генотип 39,0 %, тогда как гетеро- и гомозиготный АG и GG генотипы имели практически равные значения – 30,0 и 31,0 %. Показатели роста у животных изучались в возрасте восьми месяцев на основании взвешивания. Выявлена ассоциация генотипов обнаруженных полиморфизмов в генах GH и LEP с живой массой в исследуемой популяции мясного скота. Носители дикого гетерозиготного АВ и мутантного гомозиготного ВВ генотипов полиморфизмов L127V и T172M гена GH характеризовались большей живой массой по сравнению с особями «дикого» гомозиготного АА генотипа на 9,1, 14,2 и 14,0, 23,3 %. Кроме того, установлено, что особи СС, СТ



и AG, GG генотипов полиморфизмов с.73T>C и g.92436333G>A гена LEP превосходили животных TT и AA генотипов по показателю живой массы на 9,5; 7,3; 13,0 и 11,7 % соответственно.

**Заключение.** В результате проведенных молекулярно-генетических исследований получены сведения о генетической структуре и взаимосвязи полиморфизмов гена GH и LEP с признаками роста в популяции крупного рогатого скота калмыцкой породы.

**Ключевые слова:** гормон роста (GH), лептин (LEP) однонуклеотидный полиморфизм (SNP), ДНК, живая масса, крупный рогатый скот, генотип, фенотип

**Для цитирования:** Шевхужев А.Ф., Скорых Л.Н., Суховеева А.В. Полиморфизмы гена GH и LEP, ассоциированные с признаками роста в популяции мясного скота калмыцкой породы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т.15, № 3., С. 61-68 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.60.53.009>,

Original article

## POLYMORPHISMS OF THE GH AND LEP GENES ASSOCIATED WITH GROWTH TRAITS IN THE KALMYK BEEF CATTLE POPULATION

Anatoly F. Shevkhuzhev <sup>1</sup>✉, Larisa N. Skorykh <sup>2</sup>, Angelina V. Sukhoveeva <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center", Mikhailovsk, Russia

<sup>1</sup> shevkhuzhevaf@yandex.ru

<sup>2</sup> smu.sniizhk@yandex.ru

<sup>3</sup> sukhovey1337@gmail.com

### Abstract.

**Problem and purpose.** The aim of this study was to study the growth hormone (GH) gene polymorphisms and leptin (LEP) their association with growth traits in Kalmyk cattle.

**Methods.** The basis of the research methodology is molecular genetic testing. To determine the presence of allelic polymorphism of the growth hormone (GH) and leptin (LEP) genes, PCR-RFLP diagnostics was used, followed by analysis of the lengths of restriction fragments, including the treatment of amplified segments with restriction enzymes and subsequent separation of the resulting regions using gel electrophoresis. And also the determination of the influence of the detected point mutations on the phenotypic traits associated with the live weight in the Kalmyk cattle population using the mathematical and statistical method.

**Results.** Growth parameters in animals were studied at the age of eight months on the basis of weighing. In the identified polymorphisms L127V and T172M of the GH gene, animals carriers of wild heterozygous AB and mutant homozygous BB genotypes were characterized by a higher body weight compared to individuals of the "wild" homozygous AA genotype by 9,1;14,2 and 14,0; 23,3 %. In point mutations c.73T>C and g.92436333G>A of the LEP gene, animals with the CC, CT, AG, and GG genotypes had an advantage by 9,5; 7,3; 13,0 and 11,7 %.

**Conclusion.** As a result of the conducted molecular genetic studies, information was obtained on the genetic structure and the relationship of GH and LEP gene polymorphisms with signs of growth in the Kalmyk cattle population.

**Key words:** growth hormone (GH), leptin (LEP), single nucleotide polymorphism (SNP), DNA, body weight, cattle, genotype, phenotype.

**For citation:** Shevkhuzhev A.F., Skorykh L.N., Sukhoveeva A.V. Polymorphisms of the GH and LEP genes associated with growth traits in the Kalmyk beef cattle population // Herald, 2023, Vol.15, № 3, P.61-68 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.60.53.009>

### Введение

Мясная промышленность является важной отраслью агропродовольственного сектора. Высокая конкуренция современного рынка и растущие запросы потребителей вынуждают производителей предоставлять продукцию лучшего качества [1]. Мясо может быть использовано непосредственно в качестве пищевого продукта или может быть сырьем для дальнейшей переработки. Исходя из этого, наиболее важным аспектом современной промышленной технологии производства продукции животноводства является его количество

и качество [2]. Растущий интерес к этой тематике подтверждается реализацией ФНТП «Развитие генетических технологий» принятой на 2019-2030 гг., что позволит решить задачи, направленные на создание новых линий животных, обладающих повышенной продуктивностью, улучшенными пищевыми и технологическими свойствами, что обеспечит рост конкурентоспособности российской продукции. Повышенный интерес к мясному скотоводству возник лишь в последние годы, поэтому в ближайшее время развитие отечественного мясного скотоводства является одним из стратегиче-



ских направлений.

Широко поднимаемым вопросом в последнее десятилетие стал отбор и подбор животных при помощи исследований в области биотехнологии, заключающихся в анализе целого генома животных, а именно выявлении полиморфизмов генов, влияющих на продуктивные показатели. Возможности, осуществляемые методами молекулярной биологии, могут всецело повлиять на экономику животноводства, так как генетические детерминанты, контролируемые анализируемые признаки, являются ключом к оптимизации процессов селекции и поставке на рынок продуктов с соответствующими полезными для здоровья свойствами.

Одним из наиболее изученных ДНК-маркеров является ген гормона роста (соматотропин (GH)), локализующийся у крупного рогатого скота на 19 хромосоме, состоящий из 5 экзонов и имеющий длину 1869 пар нуклеотидов. Гормон роста является основным регулятором постнатального роста у млекопитающих [3-5]. Из проведенных ранее исследований известно, что рецептор гормона роста (GHR) является медиатором биологической активности GH в клетках-мишенях посредством импульса передаваемого сигнала [6]. Секреция соматотропина контролируется главным образом двумя гипоталамическими пептидами – это GH-высвобождающий гормон (GHRH) и соматостатин (SRH), которые действуют, стимулируя и ингибируя выделение GH [7]. У млекопитающих образование и выделение соматотропина носит пульсирующий характер и зависит от различных состояний, включая стрессовый фактор, кормление и фармакологические манипуляции, воздействующие на центральные нейротрансмиттеры [8].

Многие исследования показывают, что обнаруженные SNP в гене GH ассоциативно связаны с ростом и морфометрическими признаками у крупного рогатого скота [9]. Влияние GH на развитие наблюдается в нескольких тканях, включая костную, мышечную и жировую. Так Tety Hartatik и др. (2020), установили, что полиморфизм гена гормона роста в 5 экзоне был распознан ферментом рестрикции AluI, который выявляет два аллеля, называемых L и V, расположенные в 127-ом кодоне. Опыт, проведенный на Индонезийском помесном крупном рогатом скоте показывает, что животные-носители LL гомозиготного варианта отличались большей живой массой и среднесуточным приростом ( $34,82 \pm 18,13$  кг), в отличие от сверстников с LV и VV генотипами ( $25,31 \pm 13,10$ ;  $29,35 \pm 13,65$  кг) [10]. В исследовании Hartati H. и др. (2019) амплифицирован участок гена соматотропина длиной 329 пар нуклеотидов, выявлена в 3 интроне замена 837C>T. Идентифицированы 3 генотипа CC(+/+), CT(+/-), TT(-/-), где бычки-носители гомозиготного CC варианта превосходили по живой массе ( $30,5$  кг) сверстников с CT ( $25,7 \pm 2,9$  кг) и TT ( $26,1 \pm 3,7$  кг) генотипами. [11].

Исследования зарубежных ученых выявили, что различный уровень гена лептина (LEP) в орга-

низме вызывает повышение или снижение уровня секреции гормона роста. Интересно, что структура гена лептина (LEP) аналогична структуре гена гормона роста (GH), и существует вероятность связывания лептина с белками гена гормона роста.

Из-за важной роли в физиологических механизмах, связанных с адипоцитами и отложением жира у млекопитающих, ген лептина во многих исследованиях рассматривается в качестве гена-кандидата для его использования в качестве ДНК-маркера признаков качества туши и мяса [12]. LEP в геноме крупного рогатого скота располагается на 4 хромосоме и состоит из 16 824 пар нуклеотидов, 3 экзонов, 2 интронов. Ген лептин синтезируется и экспрессируется преимущественно белыми адипоцитами. Экспрессия и секреция лептина взаимосвязаны с массой жира в организме и размером самих жировых клеток [13]. Ген LEP является важным компонентом для энергетического баланса в организме, взаимодействуя с ключевыми метаболическими регуляторами, а именно инсулином, глюкокортикоидами и симпатической нервной системой [14]. Наконец, исследования *in vitro* показывают, что лептин может непосредственно модулировать энергетический обмен в периферических тканях и может противодействовать активности инсулина в жировой и мышечной тканях. Комбинированное влияние полиморфизмов C73T и C528T гена лептина в проведенном исследовании N. P. Gerasimov (2022) на мясную продуктивность было различным в разных возрастных группах животных. Причиной этого является разная скороспелость носителей определенного гаплотипа. Таким образом, гаплотип C/CC у телок характеризовался средней выраженностью признака, а половозрелые животные при таком сочетании продемонстрировали максимальный прирост живой массы, что указывает на их относительную способность к продолжительному росту мышечной ткани. Телки с комбинациями TT/CT и CT/CT имели самую высокую живую массу перед убоем, занимали промежуточное значение в исследуемой группе коров [15]. В ходе исследований, проведенных J. L. Gill (2009) на чистопородных животных абердин-ангусской породы и их помесей с породами симментальская и лимузин, выявили влияние SNP UASMS2 гена лептина на вкус мяса. Животные с генотипом TT имели более высокий балл по органолептическим свойствам, чем особи с генотипами CC и CT. Кроме того, наблюдалась тесная связь между обнаруженным полиморфизмом UASMS2 и толщиной филейного жира: у животных с генотипом CC было меньше жира, окружающего филейную часть, чем у животных с генотипом CT и TT [16]. Однако исследование, проведенное R. A. Curi (2011) на чистопородных животных *Bos indicus* и помесях *Bos indicus* и *Bos taurus*, не выявило значительного влияния SNP *Lep/BsaAI* (Y11369.1:g.1620G>A) на площадь мышечного глазка, внутримышечный жир и мраморность мяса [17].

Ранее не сообщалось об обнаруженных заменах в генах гормона роста и лептина у крупного



рогатого скота калмыцкой породы. Таким образом, целью данного исследования явилось выявление полиморфизма генов GH, LEP и его ассоциаций с признаками роста в популяции крупного рогатого скота калмыцкой породы.

#### Материалы и методы

Научно-производственный эксперимент проводился в условиях СПК колхоза-племзавода «Дружба» Апанасенковского района Ставропольского края. Лабораторные исследования проводились в отделах и лабораториях ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Объектом исследования являлся мясной скот калмыцкой породы (бычки). Отбор генетического материала осуществляли у бычков в возрасте восьми месяцев. Всего отобрано 156 голов животных, у которых взяты образцы биологического материала и выделена геномная дезоксирибонуклеиновая кислота. В качестве биоматериала для проведения ДНК-генотипирования у животных использовалась кровь, забор которой был выполнен из яремной вены. Пробы крови отбирали в закрытые системы забора крови S-Monovette® производства SARSTEDT (Германия) с антикоагулянтом ЭДТА. Выделение ДНК проводили методом нуклеосорбции с использованием сертифицированного набора «ДНК-Экстран-1» (ЗАО «Синтол», Россия), методом ПЦР-ПДРФ с последующим анализом длин рестрикционных фрагментов и последующим разделением полученных участков при помощи гель-электрофореза. Для каждого выявленного полиморфизма методом статистического анализа была изучена частота встречаемости аллельных вариантов в популяции и частота встречаемости гомо- и гетерозиготных генотипов. Изучены генетические особенности животных, влияющие на прижизненные показатели фенотипа, связанные с признаками роста. Показатели роста у животных изучались на основании полученных данных о живой массе путём взвешивания.

#### Результаты

В результате проведённого генотипирования и выравнивания на референсный геном ([www.ncbi.ru](http://www.ncbi.ru)) идентифицировано по три однонуклеотидных полиморфизма с.457C>G, L127V, T172M в гене гормона роста (GH), и с.73T>C, с.196-121C>T, g.92436333G>A в гене лептина (LEP). Полиморфизм гена GH с учетом количества обнаруженных SNP в популяции мясного скота представлен двумя аллелями А и В с разной частотой встречаемости. Частота встречаемости аллелей в выявленных однонуклеотидных полиморфизмах с.457C>G, L127V гена GH различалась незначительно, несколько большей частотой характеризовался аллель В (0,53), (0,55) и меньшей – аллель А (0,47), (0,45). Тогда как полиморфизм, имеющийся в структуре гена GH в виде замены T172M, распределился обратным образом: частота аллеля А была больше и составила (0,52), но несколько меньшая частота встречаемости аллеля В – (0,48).

Установлено, что выявленные полиморфизмы с.73T>C, с.196-121C>T, g.92436333G>A гена LEP также представлены двумя аллелями С и Т, А и

Г с разной частотой встречаемости. Разница в частоте встречаемости аллелей С и Т полиморфизма с.73T>C и аллелей А и G полиморфизма g.92436333G>A в гене LEP оказалась практически в одинаковых соотношениях и составила 0,52, 0,48 и 0,54, 0,46 % соответственно. Сопоставление частот встречаемости аллелей в полиморфизме с.196-121C>T выявило следующие результаты: установлена высокая частота встречаемости аллеля Т (0,58) и низкая – аллеля С (0,42).

Следующий этап исследований включал анализ распределения частот генотипов однонуклеотидных полиморфизмов в генах GH и LEP среди животных исследуемой популяции мясного скота калмыцкой породы (табл. 1).

Изучение полиморфных вариантов в разных частях гена GH позволило установить генотипы AA, AB и BB, частота встречаемости которых в трёх обнаруженных SNP была различной. Выявлена общая закономерность, свидетельствующая о том, что среди исследуемой выборки большая частота встречаемости наблюдалась у гетерозиготного варианта дикого типа (AB), имеющего практически одинаковый показатель в обнаруженных трех однонуклеотидных полиморфизмах с.457C>G, L127V, T172M, составившая 42,0, 41,0 и 41,0 %. В исследуемой популяции мясного скота наибольшую частоту встречаемости имел гетерозиготный генотип AB в полиморфизмах с.457C>G, L127V гена GH, который составил 42,0 и 41,0 %, тогда как особи с мутантным гомозиготным BB генотипом характеризовались меньшей частотой встречаемости 32,0 и 34,0 %, реже встречались животные с гомозиготным AA вариантом дикого типа – 26,0 и 25,0 %. Кроме того, установлено, что среди животных исследуемой популяции наибольшая частота встречаемости также оказалась у гетерозиготного AB генотипа в полиморфизме T172M гена GH, который составил 41,0 %, но при этом меньшая частота встречаемости наблюдалась у особей с гомозиготным AA генотипом (32,0 %), тогда как особи с мутантным гомозиготным BB генотипом встречались реже (27,0 %).

По результатам распределения частот аллелей у животных исследуемой популяции были определены по три генотипа CC, CT, TT в двух полиморфизмах с.73T>C и с.196-121C>T, AA, AG, GG в единичном полиморфизме g.92436333G>A гена LEP. Изучение полиморфных вариантов в гене LEP позволило установить, что среди исследуемой группы животных в популяции мясного скота наибольшую частоту встречаемости имел гетерозиготный CT генотип в полиморфизме с.73T>C, составивший 46,0 %, тогда как гомозиготные особи CC и TT генотипа встречались практически в одинаковых соотношениях (29,0 и 25,0). Однако в исследуемой группе животных наиболее часто встречался гомозиготный TT генотип в полиморфизме с.196-121C>T, составивший 41,0 %, особи с гетерозиготным CT генотипом распределились в средних значениях частот встречаемости (34,0 %), тогда как меньшую частоту встречаемости имел гомозиготный CC вариант – 25,0 %. В полимор-



физме g.92436333G>A наиболее распространенным был гомозиготный AA генотип 39,0 %, тогда как гетеро- и гомозиготный AG и GG генотипы име-

ли практически равные значения – 30,0 и 31,0 % (табл. 1).

Таблица 1 – Частота встречаемости аллелей и генотипов в исследуемой выборке мясного скота калмыцкой породы по генам GH и LEP

Ген	Полиморфизм	Частоты аллелей		Частоты генотипов, %		
		A	B	AA	AB	BB
GH	c.457C>G	0,47	0,53	26,0	42,0	32,0
	L127V	0,45	0,55	25,0	41,0	34,0
	T172M	0,52	0,48	32,0	41,0	27,0
LEP	c.73T>C	C	T	CC	CT	TT
		0,52	0,48	29,0	46,0	25,0
	c.196-121C>T	0,42	0,58	25,0	34,0	41,0
	g.92436333G>A	A	G	AA	AG	GG
		0,54	0,46	39,0	30,0	31,0

Поскольку гены GH и LEP – важнейшие гормональные регуляторы энергетического обмена, то, следовательно, от функциональности данных генов может зависеть и живая масса животных. Полиморфизм генов, кодирующих эти белки, связывают с репродуктивными качествами, параметрами мясной и молочной продуктивности у крупного рогатого скота. Поэтому нами проведены исследования, направленные на выявление связи полиморфных вариантов рассматриваемых генов с признаками роста мясного скота (табл. 2).

В результате проведения исследований проанализирована взаимосвязь полиморфных вариантов гена GH с интенсивностью роста молодняка крупного рогатого скота калмыцкой породы.

Анализ сопоставления живой массы у исследуемых животных в зависимости от генотипов выявленных полиморфизмов в гене GH показал, что носители AB и BB генотипов в полиморфизмах L127V и T172M имели большее значение изучаемого признака в сравнении с особями гомозиготного AA варианта. Так, носители дикого гетерозиготного AB и мутантного гомозиготного BB генотипов характеризовались большей живой массой по сравнению с особями «дикого» гомозиготного AA генотипа на 9,1, 14,2 и 14,0, 23,3 % соответственно.

Однако при рассмотрении исследуемой группы животных с различными генотипами в единичном полиморфизме c.457C>G гена GH выявленная

ассоциация генотипов полиморфизмов L127V и T172M с величиной живой массы не сохраняется. Так, установлено, что бычки-носители дикого гомозиготного AA генотипа полиморфизма c.457C>G превосходили животных с диким гетерозиготным AB и мутантным гомозиготным BB генотипами по показателю живой массы на 3,6 и 4,5 %.

Сопоставляя измерения живой массы у исследуемой группы животных в зависимости от генотипов обнаруженных полиморфизмов в гене LEP выявлено, что носители CC и CT генотипов в полиморфизме c.73T>C, особи с генотипами AG и GG в полиморфизме g.92436333G>A имели большее значение изучаемого признака в сравнении с животными гомозиготных TT и AA вариантов. Так, носители гомозиготного CC и гетерозиготного CT генотипов полиморфизма c.73T>C характеризовались большей живой массой по сравнению с особями гомозиготного TT генотипа на 7,3 и 9,5 %. Кроме того, установлено, что носители AG и GG генотипов полиморфизма g.92436333G>A превосходили животных с генотипом AA по показателю живой массы на 13,0 и 11,7 %.

Однако при рассмотрении животных исследуемой популяции мясного скота с различными генотипами в единичном полиморфизме c.196-121C>T гена LEP выявленная ассоциация генотипов полиморфизмов c.73T>C и g.92436333G>A с величиной живой массы не сохраняется (табл. 2).

Таблица 2 – Живая масса молодняка калмыцкой породы в возрасте 8 месяцев с различными генотипами в полиморфизмах генов GH и LEP (кг)

Ген	Полиморфизм	Генотип		
		AA	AB	BB
GH	c.457C>G	214,0±9,3	206,3±8,5	204,4±8,4
	L127V	195,4±11,8	213,3±13,5	223,2±11,2
	T172M	180,7±12,7	206,0±13,7	222,7±8,7
LEP	c.73T>C	CC	CT	TT
		193,2±8,8	198,0±9,3	179,1±8,2
	c.196-121C>T	214,3±8,0	211,5±9,8	213,0±8,1
	g.92436333G>A	AA	AG	GG
		191,1±11,2	219,7±13,2	216,4±8,1



### Заключение

В результате проведенных молекулярно-генетических исследований получены сведения о генетической структуре и взаимосвязи полиморфизмов гена GH с признаками роста в популяции крупного рогатого скота калмыцкой породы.

На основании проведенного генотипирования у крупного рогатого скота калмыцкой породы идентифицировали по три однонуклеотидных замены: с.457C>G, L127V, T172M в гене гормона роста (GH), с.73T>C, с.196-121C>T, g.92436333G>A в гене лептина (LEP). Установлено, что выявленные полиморфизмы с.457C>G, L127V, T172M гена GH представлены двумя аллелями А и В и тремя генотипами AA, АВ, ВВ с разной частотой встречаемости. Частота встречаемости аллелей в полиморфизмах с.457C>G, L127V, T172M гена GH распределилась следующим образом: аллель А составил 0,47; 0,45; 0,52; аллель В – 0,53; 0,55; 0,48. Выявлено, что полиморфизмы с.73T>C и с.196-121C>T гена LEP представлены двумя аллелями С и Т, полиморфизм g.92436333G>A аллелями А и G с разной частотой встречаемости. Разница в частоте встречаемости аллелей С и Т полиморфизма с.73T>C и аллелей А и G полиморфизма g.92436333G>A в гене LEP оказалась практически в одинаковых соотношениях и составила 0,52, 0,48 и 0,54, 0,46 % соответственно. По результатам распределения частот аллелей у животных исследуемой популяции определены по три генотипа CC, CT, TT в двух полиморфизмах с.73T>C и с.196-121C>T, AA, AG, GG в единичном полиморфизме g.92436333G>A гена LEP. Полученные результаты позволили выявить наличие ассоциации генотипов однонуклеотидных полиморфизмов L127V, T172M в гене GH и полиморфизмов с.73T>C, g.92436333G>A в гене LEP с живой массой, характеризующей признаки лучшей мясной продуктивности крупного рогатого скота калмыцкой породы.

### Список источников

1. Grochowska E., Borys B., Grzeškowiak E., Mroczkowski S. Effect of the calpain small subunit 1 gene (CAPNS1) polymorphism on meat quality traits in sheep // *Small Ruminant Research*. – 2017. – V. 150. – С. 15-21.

2. Шевхужев А.Ф., Воюцкий А.В. Мясная продуктивность бычков калмыцкой и симментальской пород в условиях комплекса // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2009. – № 8. – С. 13-14.

3. Amiri S., Jemmali B., Ferchichi M.A., Jeljeli H., Boulbaba R., Ben Gara A. Assessment of growth hormone gene polymorphism effects on reproductive traits in Holstein dairy cattle in Tunisia // *Archives Animal Breeding*. – 2018. – V. 61. – С. 481–489. doi: 10.5194/aab-61-481-2018.

4. Селионова М.И., Скорых Л.Н., Фомина И.О., Сафонова Н.С. Геномная селекция в овцеводстве // *Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства*. – 2017. – Т. 1. – № 10. – С. 275-280.

5. Селионова М.И., Ковалев Д.А., Скорых Л.Н.,

Сафонова Н.С., Ефимова Н.И. Исследование полиморфизма генов гормона роста, лептина у овец породы советский меринос // *Вестник АПК Ставрополья*. – 2019. – № 3 (35). – С. 25-29.

6. Maskur R., Arman C. Association of a novel single nucleotide polymorphism in growth hormone receptor gene with production traits in Bali cattle // *Italian Journal Animal Science*. – 2014. – V. 13. – С. 3461. doi: 10.4081/ijas.2014.3461.

7. Hozáková K., Vavrišínová K., Neirurerová P., Bujko J. Growth of beef cattle as prediction for meat production: A review // *Acta Fytotech. Zootech*. – 2020. – Т. 23. – № 2. – С. 58-69.

8. Pal A., Chakravarty A. K. Mutations in growth hormone gene affect stability of protein structure leading to reduced growth, reproduction, and milk production in crossbred cattle—an insight // *Domestic Animal Endocrinology*. – 2020. – Т. 71. – С. 106405.

9. El-Komy, S. M., Saleh, A. A., Abd El-Aziz, R. M., El-Magd, M. A. Association of GH polymorphisms with growth traits in buffaloes // *Domestic Animal Endocrinology*. – 2021. – Т. 74. – С. 106541.

10. Hartatik T., Fathoni A., Bintara S., Widyobroto B. P., Agus A., Budisatria I., Leroy P. The genotype of growth hormone gene that affects the birth weight and average daily gain in crossbred beef cattle // *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. – 2020. – Т. 21. – № 3.

11. Hartati H., Soewandi B. D. P., Hapsari A. A. R., Anwar S., Pamungkas D. Identification of GH| Mspl and GHR| Alul gene polymorphism and its association with calf birth weight of Grati-PO cattle // *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*. – 2019. – Т. 24. – № 2. – С. 49-55.

12. Haruna I.L. Hadebe, S.A., Oladosu, O.J., Mahmoud, G., Zhou, H., Hickford, J.G. Identification of novel nucleotide sequence variations in an extended region of the bovine leptin gene (LEP) across a variety of cattle breeds from New Zealand and Nigeria // *Archives Animal Breeding*. – 2020. – Т. 63. – № 2. – С. 241.

13. Sedykh T.A., Kalashnikova, L.A., Gizatullin, R.S., Kosilov, V.I. Effects of leptin gene polymorphism on beef cattle performance // *Russian agricultural sciences*. – 2020. – Т. 46. – С. 614-618.

14. Houseknecht K.L., Baile C.A., Matteri R.L., Spurlock M.C., The Biology of leptin: A review. // *Jornal Animal Science*. – 2008. – Т. 76. – С. 1405–1420.

15. Gerasimov, N. P., Dzhulamanov, K. M., Lebedev, S. V., Kolpakov, V. I. The combined effect of the C73T and C528T polymorphisms of the leptin gene on the formation of meat productivity in Aberdeen-Angus cows and heifers // *AIP Conference Proceedings*. – AIP Publishing LLC, 2022. – Т. 2467. – № 1. – С. 070063.

16. Gill J. L., Bishop, S. C., McCorquodale, C., Williams, J. L., Wiener, P. Association of selected SNP with carcass and taste panel assessed meat quality traits in a commercial population of Aberdeen Angus-sired beef cattle // *Genetics Selection Evolution*. – 2009. – Т. 41. – С. 1-12.

17. Curi R. A., Chardulo, L. A. L., Arrigoni, M. D. B., Silveira, A. C., & de Oliveira, H. N. Associations



between LEP, DGAT1 and FABP4 gene polymorphisms and carcass and meat traits in Nelore and crossbred beef cattle // *Livestock Science*. – 2011. – Т. 135. – №. 2-3. – С. 244-250.

**Вклад авторов:**

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### References

1. Grochowska E., Borys B., Grześkowiak E., Mroczkowski S. Effect of the calpain small subunit 1 gene (CAPNS1) polymorphism on meat quality traits in sheep // *Small Ruminant Research*. – 2017. – V. 150. – S. 15-21.
2. Shevchuzhev A.F., Voyuckij A.V. Myasnaya produktivnost' bychkov kalmyckoj i simmental'skoj porod v usloviyah kompleksa // *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. – 2009. – № 8. – S. 13-14.
3. Amiri S., Jemmali B., Ferchichi M.A., Jeljeli H., Boulbaba R., Ben Gara A. Assessment of growth hormone gene polymorphism effects on reproductive traits in Holstein dairy cattle in Tunisia // *Archives Animal Breeding*. – 2018. – V. 61. – S. 481-489. doi: 10.5194/aab-61-481-2018.
4. Selionova M.I., Skoryh L.N., Fominova I.O., Safonova N.S. Genomnaya selekciya v ovcevodstve // *Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovcevodstva i kozovodstva*. – 2017. – T. 1. – № 10. – S. 275-280.
5. Selionova M.I., Kovalev D.A., Skoryh L.N., Safonova N.S., Efimova N.I. Issledovanie polimorfizma genov gormona rosta, leptina u ovec породы sovetskij merinos // *Vestnik APK Stavropol'ya*. – 2019. – № 3 (35). – S. 25-29.
6. Maskur R., Arman C. Association of a novel single nucleotide polymorphism in growth hormone receptor gene with production traits in Bali cattle // *Italian Journal Animal Science*. – 2014. – V. 13. – S. 3461. doi: 10.4081/ijas.2014.3461.
7. Hozáková K., Vavrišínová K., Neirurerová P., Bujko J. Growth of beef cattle as prediction for meat production: A review // *Acta Fytotech. Zootech*. – 2020. – T. 23. – № 2. – S. 58-69.
8. Pal A., Chakravarty A. K. Mutations in growth hormone gene affect stability of protein structure leading to reduced growth, reproduction, and milk production in crossbred cattle-an insight // *Domestic Animal Endocrinology*. – 2020. – T. 71. – S. 106405.
9. El-Komy, S. M., Saleh, A. A., Abd El-Aziz, R. M., El-Magd, M. A. Association of GH polymorphisms with growth traits in buffaloes // *Domestic Animal Endocrinology*. – 2021. – T. 74. – S. 106541.
10. Hartatik T., Fathoni A., Bintara S., Widyobroto B. P., Agus A., Budisatria I., Leroy P. The genotype of growth hormone gene that affects the birth weight and average daily gain in crossbred beef cattle // *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. – 2020. – T. 21. – № 3.
11. Hartati H., Soewandi B. D. P., Hapsari A. A. R., Anwar S., Pamungkas D. Identification of GH| Mspl and GHR| Alul gene polymorphism and its association with calf birth weight of Grati-PO cattle // *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*. – 2019. – T. 24. – № 2. – S. 49-55.
12. Haruna I.L., Hadebe, S.A., Oladosu, O.J., Mahmoud, G., Zhou, H., Hickford, J.G. Identification of novel nucleotide sequence variations in an extended region of the bovine leptin gene (LEP) across a variety of cattle breeds from New Zealand and Nigeria // *Archives Animal Breeding*. – 2020. – T. 63. – № 2. – C. 241.
13. Sedykh T.A., Kalashnikova, L.A., Gizatullin, R.S., Kosilov, V.I. Effects of leptin gene polymorphism on beef cattle performance // *Russian agricultural sciences*. – 2020. – T. 46. – C. 614-618.
14. Houseknecht K.L., Baile C.A., Matteri R.L., Spurlock M.C., The Biology of leptin: A review. // *Jornal Animal Science*. – 2008. – T. 76. – C. 1405-1420.
15. Gerasimov, N. P., Dzhulamanov, K. M., Lebedev, S. V., Kolpakov, V. I. The combined effect of the C73T and C528T polymorphisms of the leptin gene on the formation of meat productivity in Aberdeen-Angus cows and heifers // *AIP Conference Proceedings*. – AIP Publishing LLC, 2022. – T. 2467. – № 1. – C. 070063.
16. Gill J. L., Bishop, S. C., McCorquodale, C., Williams, J. L., Wiener, P. Association of selected SNP with carcass and taste panel assessed meat quality traits in a commercial population of Aberdeen Angus-sired beef cattle // *Genetics Selection Evolution*. – 2009. – T. 41. – C. 1-12.
17. Curi R.A., Chardulo, L.A. L., Arrigoni, M.D.B., Silveira, A.C., & de Oliveira, H.N. Associations between LEP, DGAT1 and FABP4 gene polymorphisms and carcass and meat traits in Nelore and crossbred beef cattle // *Livestock Science*. – 2011. – T. 135. – №. 2-3. – C. 244-250.

**Contribution of the authors:**

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.



### **Информация об авторах**

**Шевхужев Анатолий Феоодович**, д-р с.-х. наук, профессор, гл. научн. сотрудник лаборатории промышленной технологии производства продукции животноводства ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», [shevkhuzhevaf@yandex.ru](mailto:shevkhuzhevaf@yandex.ru)

**Скорых Лариса Николаевна**, д-р биол. наук, доцент, гл. научн. сотрудник отдела овцеводства и козоводства ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»,: [smu.sniizhk@yandex.ru](mailto:smu.sniizhk@yandex.ru)

**Суховеева Ангелина Владимировна**, мл. научн. сотрудник лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», [sukhovvey1337@gmail.com](mailto:sukhovvey1337@gmail.com)

### **Author information**

**Shevkhuzhev Anatoly F.**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Industrial Technology of Livestock Production of VNIIOK – branch of the North Caucasian FNAC, [shevkhuzhevaf@yandex.ru](mailto:shevkhuzhevaf@yandex.ru)

**Skorykh Larisa N.**, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of the Department of Sheep and Goat Breeding of VNIIOK – branch of the North Caucasian FNAC, of VNIIOK – branch of the North Caucasian FNAC, [smu.sniizhk@yandex.ru](mailto:smu.sniizhk@yandex.ru)

**Sukhoveeva Angelina V.**, junior researcher Laboratory of Genomic Selection and Reproductive Cryobiology in Animal Husbandry of VNIIOK – branch of the North Caucasian FNAC, of VNIIOK – branch of the North Caucasian FNAC, [sukhovvey1337@gmail.com](mailto:sukhovvey1337@gmail.com)

Статья поступила в редакцию 28.06.2023; одобрена после рецензирования 03.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 28.06.2023; approved after reviewing 03.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 636.082  
DOI:10.36508/RSATU.2023.33.94.010

**МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ДЖЕРСЕЙСКИХ КОРОВ РАЗНЫХ ЛИНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Диана Эмериховна Юхина<sup>1</sup>✉, Ольга Алексеевна Захарова<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г.Рязань, Россия

<sup>1</sup> lady\_diana1@mail.ru

<sup>2</sup> ol-zahar-ru@yandex.ru

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Одной из недостаточно изученных пород крупного рогатого скота в России являются джерсейская. Порода хорошо акклиматизировалась и дает неплохой результат по продуктивности, но разводят ее только в нескольких регионах нашей страны. Самые большие популяции этой породы расположены в Новой Зеландии, Австралии, США, Дании и ЮАР. Интересно, что рассматриваемая порода была выведена в Англии на острове Джерси и до сих пор широко распространена там. Это молочная порода крупного рогатого скота, которая известна своим высоким содержанием жира и белка в молоке. Из жирного молока получалось много масла и сыра, вследствие чего на остров запретили ввозить скот другой породы, чтобы избежать нежелательного скрещивания. Из научной литературы известно, что отличительной особенностью коров является их эмоциональный темперамент, отсюда в стаде много пугливых особей. К тому же эти животные нуждаются в особом уходе, кормлении и др. В хозяйствах Рязанской области поголовье коров джерсейской породы невелико, но из-за высокого качества молока спрос высокий. Целью наших исследований явилось изучение молочной продуктивности джерсейских коров разных линий в зависимости от типа нервной деятельности.

**Методология.** Определение типа нервной деятельности проводилось в 2020-2021 гг. в ООО «Авангард», где из опытного стада отбиралось методом пар-аналогов по 10 коров разных линий в 3 группы. Способ содержания – беспривязный. Рацион разработан сотрудниками ВИЖ. Методика исследований – по Г.В. Паришутину, Т.В. Ипполитовой. Мобильность нервных процессов устанавливалась по темпу перестройки сигнального значения условных рефлексов. Так, положительный условный раздражитель переставал подкрепляться, а дифференцировочный раздражитель начинал даваться с подкреплением. Кроме того, с этой же целью изменялся порядок следования раздражителей в стереотипе (например, хлопушка), а также проводилась замена всех раздражителей стереотипа. Было проведено 4 испытания в течение 5 суток с применением подачи корма с правой или левой стороны, неподкрепления пищевого рефлекса, звуковых раздражителей. Для достоверности результатов итоги опыта обрабатывались на компьютерной программе Statistika 10.

**Результаты.** В результате проведенных исследований было выявлено, что более половины коров из первой группы обладают высокой скоростью выработки и закрепления условного пищевого рефлекса. Данные пищевые рефлекссы нами были изучены путем изменения стороны подачи миски с кормом. Установлено, что половина коров из первой группы требовала всего 5-6 неподкреплений для перехода на новую сторону, в то время как более половины коров из второй и третьей групп требовали большего количества неподкреплений. Также было выявлено, что у 30 % коров из первой группы нервные процессы были настолько сильными, что они не реагировали на звуковой сигнал, в то время как у 4-х коров из второй и третьей групп было замешательство в виде откидывания головы и вздрагивания. Было обнаружено, что коровы могут быть разделены на животных со следующими типами нервной деятельности: с сильными, уравновешенными и подвижными нервными процессами и с сильными, уравновешенными и инертными нервными процессами. У коров из первой группы была более спокойная реакция на раздражители, в то время как коровы из третьей группы были более эмоциональными и пугливыми. Тип нервной деятельности коров тесно связан с их продуктивностью. Коровы из первой группы, которые были более уравновешенными, имели в среднем за три лактации 5267,7 кг молока за 305 дней, в то время как коровы из второй группы давали 4944,7 кг молока. Более возбужденные коровы из третьей группы показали продуктивность на 2 % больше, чем коровы из второй группы. Была обнаружена достоверная связь между типом нерв-



ной деятельности и продуктивностью коров. Это исследование подчеркивает важность понимания типа нервной деятельности коров для повышения их продуктивности. В дальнейшем исследовании можно изучить, какие факторы влияют на тип нервной деятельности коров и каким образом можно определить оптимальный тип нервной деятельности для максимальной продуктивности.

**Заключение.** Отмечая одинаковую технологию содержания коров на комплексе, рацион кормления и свободный доступ к воде, технологию доения, показатели микроклимата и другие факторы, разница в продуктивности объясняется генеологией. Как показали результаты проведенного опыта по определению типа нервной деятельности, коровы 1-й группы (линия Секрет Сигнал Обсервер) более уравновешены, с максимальной продуктивностью, коровы 2-й группы (линия Гленморс 157911) – уравновешенные, но с меньшей продуктивностью (-6 %). Коровы 3-й группы (линия АдвангерС-Липтне Тестер) – менее уравновешенные с меньшей продуктивностью (-4,4 %) по сравнению с животными 1-й группы.

**Ключевые слова:** молочный скот, джерсейская порода, корова, линии, тип нервной деятельности, пугливость.

**Для цитирования:** Юхина Д.Э., Захарова О.А. Молочная продуктивность джерсейских коров разных линий в зависимости от типа нервной деятельности // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т.15 № 3, С 69-76 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.33.94.010>

Original article

## MILK PRODUCTIVITY OF JERSEY COWS OF DIFFERENT LINES DEPENDING ON THE TYPE OF NERVOUS ACTIVITY

Diana E. Yukhina<sup>1</sup>✉, Olga A. Zakharova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva", Ryazan, Russia

<sup>1</sup> lady\_diana1@mail.ru

<sup>2</sup> ol-zahar-ru@yandex.ru

### Annotation.

**Problem and purpose.** One of the insufficiently studied breeds of cattle in Russia is the Jersey. The breed has acclimatized well and gives good results in terms of productivity, but it is bred only in a few regions of our country. The largest populations of this breed are located in New Zealand, Australia, USA, Denmark and South Africa. Interestingly, the breed in question was developed in England on the island of Jersey and is still widespread there. This is a dairy cattle breed that is known for its high fat and protein content in its milk. Fat milk produced a lot of butter and cheese, as a result of which the import of cattle of other breeds was prohibited to the island in order to avoid unwanted crossbreeding. It is known from scientific literature that a distinctive feature of cows is their emotional temperament, hence there are many timid individuals in the herd. In addition, these animals need special care, feeding, etc. In the farms of the Ryazan region, the number of Jersey cows is small, but due to the high quality of the milk, the demand is high. The purpose of our research was to study the milk productivity of Jersey cows of different lines depending on the type of nervous activity.

**Methodology.** The type of nervous activity was determined in 2020-2021. at Avangard LLC, where 10 cows of different lines were selected from the experimental herd using the method of pair-analogues into 3 groups. The method of keeping is loose. The diet was developed by VIZH employees. Research methodology - according to G.V. Parshutin, T.V. Ippolitova. The mobility of nervous processes was determined by the rate of restructuring of the signal value of conditioned reflexes. Thus, the positive conditioned stimulus ceased to be reinforced, and the differential stimulus began to be given with reinforcement. In addition, for the same purpose, the order of the stimuli in the stereotype was changed (for example, a firecracker), and all the stimuli of the stereotype were replaced. 4 tests were carried out over 5 days using feed from the right or left side, non-reinforcement of the food reflex, and sound stimuli. To ensure the reliability of the results, the results of the experiment were processed using the Statistika 10 computer program.

**Results.** As a result of the studies, it was revealed that more than half of the cows from the first group have a high rate of development and consolidation of the conditioned food reflex. We studied these food reflexes by changing the side of the food bowl. It was found that half of the cows from the first group required only 5-6 non-reinforcements to switch to a new side, while more than half of the cows from the second and third groups required more non-reinforcements. It was also found that in 30% of the cows from the first group, the nervous processes were so strong that they did not respond to the sound signal, while 4 cows from the second and third groups had confusion in the form of throwing their heads back and flinching. It has been discovered that cows can be divided into animals with the following types of nervous activity: those with strong, balanced and mobile nervous processes and those with strong, balanced and inert nervous processes. Cows from the first group had a calmer reaction to stimuli, while cows from the third group were more emotional and fearful. The type



of nervous activity of cows is closely related to their productivity. Cows from the first group, which were more balanced, had an average of 5267.7 kg of milk in 305 days over three lactations, while cows from the second group produced 4944.7 kg of milk. More excited cows from the third group showed 2% more productivity than cows from the second group. A significant connection was found between the types of nervous activity and the productivity of cows. This study highlights the importance of understanding the type of neural activity in cows to improve their performance. Further research could examine what factors influence the type of nervous activity in cows and how the optimal type of nervous activity for maximum productivity can be determined.

**Conclusion:** Noting the same technology for keeping cows at the complex, feeding ration and free access to water, milking, microclimate indicators and other factors, the difference in productivity is explained by geneology. As the results of the experiment to determine the type of nervous activity showed, cows of the 1st group (Secret Signal Observer line) are more balanced, with maximum productivity, cows of the 2nd group (Glenmores line 157911) are balanced, but with less productivity (-6%). Cows of the 3rd group (AdvangerSliptng Tester line) are less balanced with lower productivity.

**Key words:** dairy cattle, Jersey breed, cow, lines, type of nervous activity, fearfulness.

**For citation:** Yukhina D.E., Zakharova O.A. Milk productivity of Jersey cows of different lines depending on the type of nervous activity // Herald, of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva. 2023. Vol. 15 No 3. P 70-77 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.33.94.010>

### Введение

Сейчас в мире насчитывается более 250 пород крупного рогатого скота, из них в нашей стране зарегистрировано 70 из-за короткого лета и суровой зимы. Почти все породы коров популярны вследствие высокой продуктивности молока и мяса, однако требуют особых условий содержания [6]. В Рязанской области численность крупного рогатого скота (пород молочного направления) в племенных хозяйствах составляет до 50 тыс. голов, из которых 21 тыс. коров. Следовательно, удельный вес племенного молочного скота достигает более 35 %. Продуктивность на одну фуражную корову составила в среднем 7495 кг [4, 11]. Более 88 % молока производится сельскохозяйственными предприятиями, до 9 % – хозяйствами населения и лишь 2,4 % – фермерскими организациями. В племенную структуру входят 15 хозяйств: 4 племенных завода и 11 племенрепродукторов. поголовье племенных животных возросло за последние годы на 27 %, что позволило сократить закупки скота в этом году до тысячи голов [9].

Одной из малочисленных и недостаточно изученных пород в России является джерсейская. Порода хорошо акклиматизировалась и дает неплохой результат по продуктивности, но разводят ее только в Московской, Рязанской и Калужской областях нашей страны. На исторической родине породы – острове Джерси – зафиксировано в настоящее время около 6 тысяч голов, в том числе до 4 тысяч коров [2, 15, 16]. На своей родине – Англии – и сейчас она широко распространена. Из жирного молока получалось много масла, вследствие чего на остров запретили ввозить скот другой породы, чтобы избежать нежелательного скрещивания [3, 12]. Из научной литературы [5, 13, 18] известно, что отличительной особенностью коров является их эмоциональный темперамент, отсюда в стаде много пугливых особей.

### Объекты и методы исследований

Целью наших исследований было определение типа нервной деятельности джерсейских коров и связь с продуктивностью.

Объект исследований – коровы разных линий джерсейской породы. Для опыта были отобраны по 10 коров разных линий в 3 группы (табл. 1). Способ содержания – беспривязный. Рацион раз-

работан сотрудниками ВИЖ с включением травы, сена, комбикорма и овощей (недостаток некоторых кормов компенсировался кукурузой).

Методика исследований – по Г.В. Паршутину, Т.В. Ипполитовой [17]. Подвижность нервных процессов определялась нами по скорости переделки сигнального значения выбранных условных раздражителей, когда положительный условный раздражитель переставал подкрепляться, а дифференцированный раздражитель начинал даваться с подкреплением. Кроме того, с этой же целью изменялся порядок следования раздражителей в стереотипе (например, хлопущка), а также проводилась замена всех раздражителей стереотипа [8, 10]. С этой же целью осуществлялась «сшибка» нервных процессов, когда после дифференцированного раздражителя в том же опыте нами давался положительный условный раздражитель (рис.1).

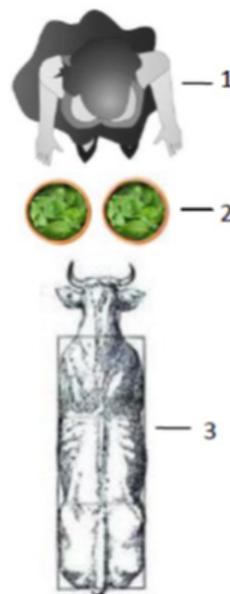


Рис.1 – Схема проведения научно-хозяйственного опыта

1 – экспериментатор, 2 – миска с кормом, 3 – корова

Fig.1 – Scheme of conducting scientific and economic experiment

1 – experimenter, 2 – bowl of food, 3 – cow

В результате проведенных четырех испытаний



был установлен тип высшей нервной деятельности у исследуемых животных. В эксперименте, проведенном в течение пяти дней, были исследованы нервные процессы, связанные с реакцией на внешние раздражители и формированием условного пищевого рефлекса. Первое испытание, продолжавшееся один день, включало оценку силы нервных процессов при определении воздействия раздражителей и скорости формирования условного пищевого рефлекса в опытной ситуации. Второе, третье и четвертое испытания проводились в течение трех дней и заключались в изменении условных пищевых рефлексов при подаче корма то с правой, то с левой стороны. Это позволило изучить адаптивные возможности нервной системы при изменении стимуляции и оценить, на-

сколько быстро и эффективно животное может адаптироваться к новым условиям. Пятый день эксперимента включал два испытания. В третьем испытании проверяли реакцию на угасание условных пищевых рефлексов при отсутствии подачи корма. Это позволило оценить, насколько стойким является условный рефлекс, и как быстро он может быть подавлен при отсутствии подкрепления. Четвертое испытание пятого дня было связано с реакцией на звуковой раздражитель в виде хлопушки. Это дало возможность изучить реакцию нервной системы на внезапные звуковые стимулы и установить, как быстро животное может ассоциировать их с получением корма.

Таблица 1 – Исходные данные для проведения опыта

Опытная группа	Номер лактации	Количество животных в опыте, гол	Продолжительность опыта	Вид корма
1-я группа линия Секрет Сигнал Обсервер	1	10	5 суток	Зеленая резка
2-я группа линия Гленморс 157911	1	10	5 суток	Зеленая резка
3-я группа линия АдвангерСлиптнг Тестер	1	10	5 суток	Зеленая резка

Продолжительность каждого испытания 20 минут.

Коров доили три раза в сутки с интервалами 12,6 час. и 6 час. В первом и третьем испытаниях изучались типы ВНД при доении. Перед дойкой проведена полноценная 40-секундная подготовка вымени, включающая подмыв и вытирание вымени с массажем, сдаивание первых струек молока. Во втором испытании вымя коров готовила другая доярка в течение трех доек подряд при полноценной подготовке вымени. В четвертом испытании подготовка вымени была неполноценна и длилась 10 секунд. Она включала обтирание вымени мокрым полотенцем и сдаивание первых струек молока, после этого следовала задержка с подвесом аппарата в течение 30 с. Присутствие экспериментаторов регулярное. Технология доения не отличалась от стандартной, рекомендуемой для установки Елочка, соблюдалось постоянство стойла, времени, очередности и стороны доения.

Достоверность результатов испытаний подтверждена их обработкой на компьютерной программе Statistika 10.

#### Результаты исследований

В таблице 2 отображен исход опыта по установлению типа высшей нервной деятельности коров разных линий джерсейской породы. Пер-

вое испытание успешно прошли 6 коров из 10, которые представляли 1-ю группу. Они активно и без замедлений поедали корм из миски, что подтверждает высокую скорость выработки условного пищевого рефлекса.

Исследование, проведенное на животных, установило, что после 5-6 раз неподкрепленной подачи корма и изменения стороны его подачи половина животных первой группы показала хорошую реакцию. Однако у коров из второй и третьей групп реакция была немного слабее – 40 % и 30 % соответственно. Во время следующего испытания на внезапный звуковой сигнал отреагировала половина животных первой группы, что указывает на сильные нервные процессы. Коровы из двух других групп реагировали более бурно, проявляя замешательство в виде откидывания головы и вздрагивания. Это свидетельствует о среднем типе высшей нервной деятельности. Такие исследования проводятся для понимания, как животные реагируют на различные условия и как их поведение может быть изменено. Это важно для разработки стратегий по улучшению условий содержания животных и повышению их продуктивности. Кроме того, такие исследования могут помочь улучшить понимание нервной системы животных и ее взаимосвязи с их поведением.



Таблица 2 – Результаты испытаний

Схема опыта	Характер поведения	Количество коров в опыте, шт.		
		1-я группа линия Секрет Сигнал Obser- вер	2-я группа линия Глен- морс 157911	3-я группа линия Адвангер Слиптинг Тестер
1	2			
День 1-й				
(испытание 1 – сила нервных процессов при определении силы внешнего раздражения и скорости выработки условного пищевого рефлекса)				
+	Животные тянутся к миске. Корм берется сразу и поедается доста-точно активно	6	2	7
+	Животные косятся на эксперимента-тора, обнюхивают миску, поедают зеленую резку на 3-4-й подаче	4	8	3
Дни 2 - 5-й				
(испытание 2 – переделка условных пищевых рефлексов при подаче корма то с правой, то с левой стороны, испытание 3 – угасание условных пищевых рефлексов при неподкреплении дачей корма)				
+-**	Животные спокойно берут корм, внима-тельно следят за экспериментатором, тянутся к мискам, выполняют 2-3 пере-делки в заданное время. Пищевые ре-акции после 6-8 неподкреплений дачей корма быстро ослабевают и прекраща-ются. Уравновешенные. Подвижность хорошая	5	4	3
+-	Животные, как правило, имеют тенден-цию переключаться между различными мисками, пытаясь найти корм, который им больше всего подходит. Они могут зевнуть и с трудом начать есть. Если животные не получают достаточно еды в течение 14-15-ти раз, они перестают реагировать на пустую миску, но могут продолжать зевать и тянуться к ней. Это может свидетельствовать о пре-обладании процесса возбуждения, ко-торый может быть связан с нехваткой питательных веществ. В среднем жи-вотные не слишком подвижны, но могут проявлять активность в зависимости от их потребностей. Например, если жи-вотное голодно, оно может стать более активным и подвижным.	5	6	7
День 5-й				
(испытание 4 – реакция на хлопущку)				
+++	Животные не реагируют или вздрагива-ют. Сильная степень нервных процес-сов	5	4	4
+	Животные вздрагивают, но продол-жают поедать корм. Средняя сила нерв-ных процессов	5	6	6

\* – миска с кормом,

\*\* – пустая миска + миска с кормом,

+++ – использование звукового раздражителя (хлопушки)



Из таблицы 2 видно, что подопытные джерсей являются неярко выраженными представителями двух основных типов нервной деятельности: с сильными, уравновешенными и подвижными нервными процессами и с сильными, уравновешенными и инертными нервными процессами. Более спокойной на раздражители была реакция у коров 1-й группы, а коровы 3-й группы были более эмоциональными, пугливыми.

Тип нервной деятельности тесно связан с продуктивностью [7]. Стресс в виде громких звуков, тесного соседства и др. может препятствовать выработке окситоцина – гормона, стимулирующего секрецию молока, усиливая выработку пролактина [14]. Он стимулирует поступление молока в крупные протоки или синусы, способствуя усиле-

нию отделения молока.

Так, уравновешенные животные 1-й группы имели в среднем за три лактации 5267,7 кг молока за 305 дней, 4944,7 кг – у коров 2-й группы при  $P > 0,999$ . Более возбужденные животные в третьей группе показали продуктивность на 2 % больше, чем коровы 2-й группы.

Таким образом, разница между удоями коров 1-й и 2-й групп составила +323 кг, или +6,2 %; 1-й и 3-й групп – +258 кг, или +3,3 %; 2-й и 3-й групп – 65 кг, или 1,3 % соответственно, то есть удой от коров 3-й группы был чуть выше.

Достоверная связь между типом нервной деятельности коров опытных групп и продуктивностью подтверждена при анализе данных в программе Statistika 10 (табл.3).

Таблица 3 – Корреляционная матрица зависимости продуктивности от типа нервной деятельности коров разных линий

Удой . кг	Варианты										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Удой . кг	1-я группа, линия Секрет Сигнал Обсервер										
	0.5292	0.0572	0.0864	0.2449	-0.1348	-0.1148	0.3254	-0.1661	0.000	-0.0515	0.3369
	p=0.043	p=0.839	p=0.759	p=0.379	p=0.632	p=0.684	p=0.237	p=0.554	p=1.00	p=0.855	p=0.219
Удой . кг	2-я группа, линия Гленморс 157911										
	0.7994	0.0317	0.1913	-0.3895	0.3803	-0.1137	-0.2136	-0.1817	0.0000	-0.1936	0.1690
	p=0.000	p=0.911	p=0.495	p=0.151	p=0.162	p=0.687	p=0.445	p=0.517	p=1.00	p=0.489	p=0.547
Удой . кг	3-я группа, линия АдвангерСлиптнг Тестер										
	-0.1179	-0.1739	-0.3338	-0.0969	0.3000	0.2274	-0.2254	-0.0292	-0.2931	-0.0861	0.5572
	p=0.676	p=0.535	p=0.224	p=0.731	p=0.277	p=0.415	p=0.419	p=0.918	p=0.289	p=0.760	p=0.031

Проведенный статистический анализ по выявлению различий указывает на их достоверность между группами исследуемых коров, так как рассчитанный уровень значимости составил меньше 0,001.

Таким образом, эксперимент позволил получить новые данные о нервных процессах, связанных с реакцией на раздражители и формированием условных рефлексов. Важно отметить, что высшая нервная деятельность у коров может быть различной и зависит от многих факторов, таких как условия содержания, питания и генетические особенности. Интерес к изучению высшей нервной деятельности у животных связан с возможностью улучшения условий их содержания и повышения производительности. Некоторые исследования показывают, что высокий уровень нервной деятельности у коров связан с более высокой продуктивностью молока и лучшим здоровьем животных. Однако необходимо учитывать, что высокий уровень стресса может негативно сказаться на здоровье и продуктивности коров, поэтому важно обеспечивать им комфортные условия содержания.

$$z = -5.487e+160.315x + 227.99y + 0.124xx + 0.25xy - 0.21yy$$

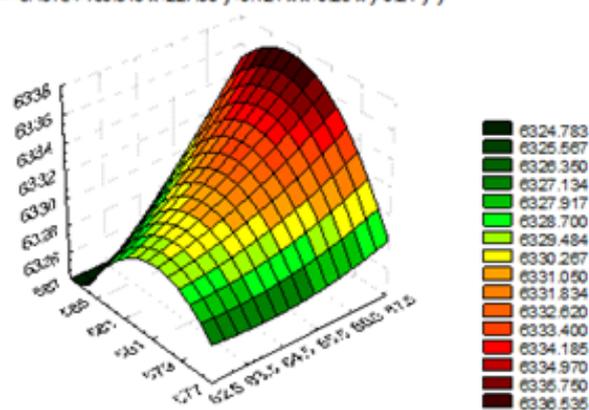


Рис.3 – Зависимость удоя коров разных линий от типа нервной деятельности  
Fig.3 – Dependence of milk yield of cows of different lines on the type of nervous activity

**Заключение**

Как показали результаты проведенного опыта по определению типа нервной деятельности, ко-



ровы 1-й группы (линия Секрет Сигнал Обсервер) более уравновешенные с максимальной продуктивностью, коровы 2-й группы (линия Гленморс 157911) – уравновешенные, но с меньшей продуктивностью (-6 %), коровы 3-й группы (линия АдвангерСлиптнг Тестер) – менее уравновешенные (-4,4 %) по сравнению с животными 1-й группы. Тип высшей нервной деятельности у коров оказал определенное влияние на величину удоев.

#### Список источников

1. Вальковская, Н.В. Связь типа высшей нервной деятельности с молочной продуктивностью коров / Н.В. Вальковская // Главный зоотехник, 2017. - № 10. - С. 50-55. – EDN ZIOQGZ.

2. Головань, В.Т. Изучение взаимосвязи типа высшей нервной деятельности и продуктивности коров / В.Т.Головань, Д.А. Юрин // Сб. научн. тр. КНЦЗВ, 2022. – Т.11. - №2. – С. 47-51. – DOI 10.48612/sbornik-2022-2-11. – EDN VATJLW.

3. Летягина, Е.Н. Связь стрессоустойчивости с молочной продуктивностью, типами высшей нервной деятельности и пищевым поведением у высокопродуктивных коров: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.13: / Е.Н. Летягина. - Тюмень, 2004. - 158 с. – EDN NHTJID.

4. Кудрин, А.Г., Гаврилин С.А. Этологический отбор в скотоводстве / А.Г.Кудрин, С.А.Гаврилин. - Мичуринск: Изд-во Мичуринского госагроуниверситета, 2010. - С. 98. – EDN QLBSWB.

5. Востроилов, А. В. Адаптация и производственное долголетие импортного крупного рогатого скота в условиях промышленного комплекса / А. В. Востроилов, Е. С. Артемов, С. И. Капустин // Молочное и мясное скотоводство. – 2022. – № 4. – С. 26-30. – DOI 10.33943/MMS.2022.19.80.004. – EDN PNFJKJ.

6. Гукежев, В. М. Быки-производители - главный рычаг повышения эффективности селекции / В. М. Гукежев, А. М. Хуранов // Пермский аграрный вестник. – 2022. – № 2(38). – С. 106-111. – DOI 10.47737/2307-2873\_2022\_38\_106.

7. Иванова, И. П. Фенотипические особенности коров джерсейской породы в процессе адаптации к условиям Омской области / И. П. Иванова, Е. Н. Юрченко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1(49). – С. 99-105. – DOI 10.48136/2222-0364\_2023\_1\_99. – EDN VQTFOS.

8. Кибкало, Л. И. Влияние линейной принадлежности коров на их морфологические и функциональные свойства вымени / Л. И. Кибкало, Н. В. Сидорова // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2021. – № 3(21). – С. 52-56 – EDN TSKKCQ.

9. Князева, Т. А. Джерсейская порода молочного скота в Российской Федерации / Т. А. Князева, Н. Ю. Чекменева, С. В. Никитина // Зоотехния. – 2019. – № 5. – С. 5. – DOI 10.25708/ZT.2019.39.83.005. – EDN JNXVZH.

10. Молочная продуктивность коров и факторы ее обуславливающие / И. М. Дунин, К. К. Аджибеков, А. Г. Козанков [и др.] // Зоотехния. – 2022. – № 11. – С. 2-4. – DOI 10.25708/ZT.2022.26.78.001. – EDN XDLSI.

11. Молочная продуктивность коров разных экстерьерно-конституциональных типов / С. Д. Батанов, И. А. Амерханов, И. А. Баранова [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 102-113. – DOI 10.26897/0021-342X-2021-2-102-113.

12. Молочная продуктивность коров с разными формами наследования удоя и жирномолочности / Р. З. Абдулхаликов, Т. Т. Тарчоков, З. М. Айсанов, М. Г. Тлейншева // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2022. – № 2(36). – С. 38-47.

13. Паршутин Г.В., Ипполитова Г.В. Типы высшей нервной деятельности животных и методика их определения у крупного рогатого скота и лошадей / Г.В. Паршутин, Г.В. Ипполитова. - М.: МВА им. К.И. Скрябина, 1971. — 33 с.

14. Санова, З. С. Уровень молочной продуктивности джерсейских коров в зависимости от генетологии / З. С. Санова // Аграрный вестник Урала. – 2021. – № 1(204). – С. 60-69. – DOI 10.32417/1997-4868-2021-204-01-60-69. – DOI 10.32417/1997-4868-2021-204-01-60-69. – EDN SSLUDO.

15. Файзуллин, П. В. Молочная продуктивность коров разной линейной принадлежности и качество получаемого сыра / П. В. Файзуллин, О. В. Горелик // Главный зоотехник. – 2023. – № 5(238). – С. 43-56. – DOI 10.33920/sel-03-2305-05.

16. Черемуха, Е. Г. Влияние линейной принадлежности на долголетие и молочную продуктивность коров / Е. Г. Черемуха, О. Г. Вахрамова, О. В. Бузина // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 10(187). – С. 109-116. – DOI 10.36718/1819-4036-2022-10-109-116.

17. Юрченко, Е. Н. История формирования и фенотипические особенности стада крупного рогатого скота джерсейской породы / Е. Н. Юрченко, И. П. Иванова, Н. А. Юрк // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2021. – № 4. – С. 132-139. – DOI 10.24412/2311-6447-2021-4-132-139.

18. Юхина Д.Э. Сравнительная оценка продуктивности джерсейских коров разных линий / Д.Э.Юхина, О.А.Захарова // Зоотехния. – 2023. – № 7. – С. 10-13.

#### Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### References

1. Val'kovskaya, N.V. Svyaz' tipa vysshej nervnoj deyatel'nosti s molochnoj produktivnost'yu korov / N.V. Val'kovskaya // Glavnyj zootekhnik, 2017. - № 10. - S. 50-55.

2. Golovan', V.T. Izuchenie vzaimosvyazi tipa vysshej nervnoj deyatel'nostii produktivnosti korov / V.T.Golovan', D.A. YUrin //Sb.nauchn.tr. KNCZV, 2022. – Т.11. - №2. – S. 47-51.



3. Letyagina, E.N. Svyaz' stressoustojchi-vosti s molochnoj produktivnost'yu, tipami vysshej nervnoj deyatel'nosti ipishchevym povedeniem u vysokoproduktivnyh korov: dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.13: / E.N. Letyagina. - Tyumen', 2004. - 158 s.

4. Kudrin, A.G., Gavrilin S.A. Etologi-cheskij otbor v skotovodstve / A.G. Kudrin, S.A. Gavrilin. - Michurinsk: Izd-vo Muchurinskogogosagrouniversiteta, 2010. - S. 98.

5. Vostroilov, A. V. Adaptaciya i proizvodstvennoe dolgoletie importnogo krupnogo rogatogo skota v usloviyah promyshlennogo kompleksa / A. V. Vostroilov, E. S. Artemov, S. I. Kapustin // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. – 2022. – № 4. – S. 26-30. – DOI 10.33943/MMS.2022.19.80.004. – EDN PNFJKJ.

6. Gukezhev, V. M. Byki-proizvoditeli - glavnyj ryhag povysheniya effektivnosti selekcii / V. M. Gukezhev, A. M. Huranov // Permskij agrarnyj vestnik. – 2022. – № 2(38). – S. 106-111. – DOI 10.47737/2307-2873\_2022\_38\_106.

7. Ivanova, I. P. Fenotipicheskie osobennosti korov dzhersejskoj porody v processe adaptacii k usloviyam Omskoj oblasti / I. P. Ivanova, E. N. YUrchenko // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – № 1(49). – S. 99-105.

8. Kibkalo, L. I. Vliyanie linejnoy prinadlezhnosti korov na ih morfologicheskie i funkcional'nye svojstva vymeni / L. I. Kibkalo, N. V. Sidorova // Aktual'nye voprosy sel'skohozyajstvennoj biologii. – 2021. – № 3(21). – S. 52-56

9. Knyazeva, T. A. Dzhersejskaya poroda molochnogo skota v Rossijskoj Federacii / T. A. Knyazeva, N. YU. CHekmeneva, S. V. Nikitina // Zootekhniya. – 2019. – № 5. – S. 5.

10. Molochnaya produktivnost' korov i faktory ee obuslavlivayushchie / I. M. Dunin, K. K. Adzhibekov, A. G. Kozankov [i dr.] // Zootekhniya. – 2022. – № 11. – S. 2-4.

11. Molochnaya produktivnost' korov raznyh ekster'erno-konstitucional'nyh tipov / S. D. Batanov, I. A. Amerhanov, I. A. Baranova [i dr.] // Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2021. – № 2. – S. 102-113. – DOI 10.26897/0021-342X-2021-2-102-113.

12. Molochnaya produktivnost' korov s raznymi formami nasledovaniya udoya i zhirmolochnosti / R. Z. Abdulhalikov, T. T. Tarchokov, Z. M. Ajsanov, M. G. Tlejnsheva // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova. – 2022. – № 2(36). – S. 38-47.

13. Parshutin G.V., Ippolitova G.V. Tipy vysshej nervnoj deyatel'nosti zhivotnyh i metoda ih opredeleniya u krupnogo rogatogo skota i loshadej / G.V. Parshutin, G.V. Ippolitova. - M.: MVA im. K.I. Skryabina, 1971. — 33 s.

14. Sanova, Z. S. Uroven' molochnoj produktivnosti dzhersejskih korov v zavisimosti ot genealogii / Z. S. Sanova // Agrarnyj vestnik Urala. – 2021. – № 1(204). – S. 60-69. – DOI 10.32417/1997-4868-2021-204-01-60-69.

15. Fajzullin, P. V. Molochnaya produktivnost' korov raznoj linejnoy prinadlezhnosti i kachestvo poluchaemogo syra / P. V. Fajzullin, O. V. Gorelik // Glavnyj zootekhnik. – 2023. – № 5(238). – S. 43-56. – DOI 10.33920/sel-03-2305-05.

16. CHeremuha, E. G. Vliyanie linejnoy prinadlezhnosti na dolgoletie i molochnuyu produktivnost' korov / E. G. CHeremuha, O. G. Vahramova, O. V. Buzina // Vestnik KrasGAU. – 2022. – № 10(187). – S. 109-116. – DOI 10.36718/1819-4036-2022-10-109-116.

17. YUrchenko, E. N. Istoriya formirovaniya i fenotipicheskie osobennosti stada krupnogo rogatogo skota dzhersejskoj porody / E. N. YUrchenko, I. P. Ivanova, N. A. YUrK // Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. – 2021. – № 4. – S. 132-139. – DOI 10.24412/2311-6447-2021-4-132-139.

18. YUhina D.E. Sravnitel'naya ocenka produktivnosti dzhersejskih korov raznyh linij / D.E. YUhina, O.A. Zaharova // Zootekhniya. – 2023. – № 7. – S. 10-13

#### Информация об авторах

**Юхина Диана Эмериховна**, ассистент кафедры технологии общественного питания ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», lady\_diana1@mail.ru

**Захарова Ольга Алексеевна**, д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», ol-zahar-ru@yandex.ru

#### Author information

**Yukhina Diana E.**, assistant at the department of catering technology, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, lady\_diana1@mail.ru

**Zakharova Olga A.**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, ol-zahar-ru@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16.08.2023; одобрена после рецензирования 11.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 16.08.2023; approved after reviewing 11.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.



# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Вестник РГАТУ, 2023, т.15, № 3, с.77- 84  
Vestnik RGATU, 2023, Vol.15, № 3, pp 77-84

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 633.521:631.31 (470.331)  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.37.75.011

### ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ МЕЛКОСЕМЕННЫХ КУЛЬТУР

**Николай Васильевич Алдошин<sup>1</sup>✉, Александр Сергеевич Васильев<sup>2</sup>, Вячеслав Викторович Голубев<sup>3</sup>, Максим Викторович Никифоров<sup>4</sup>, Светлана Владимировна Эренкова<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Федеральний научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия  
<sup>2,3,4,5</sup> Тверская государственная сельскохозяйственная академия, г. Тверь, Россия

<sup>1</sup> naldoshin@yandex.ru

<sup>2</sup> vasilvtgsha@mail.ru

<sup>3</sup> slavasddg@mail.ru

<sup>4</sup> mnikiforov@tvgscha.ru

<sup>5</sup> s2012y@mail.ru

#### Аннотация.

**Проблема и цель.** Улучшение характеристик почвенной среды для создания оптимальных условий для роста и развития растений является важнейшей задачей системы обработки почвы. При этом исключительную ценность качество подготовки почвы имеет для мелкосеменных культур, эффективное возделывание которых обеспечивается за счет высоких требований к плотности и гребнистости поверхностного слоя почвы, а также его структурно-агрегатному наполнению. Целью работы было изучить особенности формирования микрорельефа почвы и продуктивности мелкосеменных культур под воздействием различных рабочих органов для предпосевной подготовки (гладкий каток, прутковый каток, экспериментальный выравниватель).

**Методология.** Полевые опыты со льном-долгуном выполнялись в соответствии с существующей методикой опытного дела на экспериментальном полигоне ФГБОУ ВО Тверская ГСХА в 2016-2018 годах на дерново-среднеподзолистой супесчаной почве. Схема опыта (факторы, градации): А – удобрение до посева: 1 – N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>; 2 – N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>; В – вариант предпосевной обработки почвы: 1 – гладкий каток (контроль); 2 – прутковый каток; 3 – экспериментальный выравниватель. Полевая всхожесть определялась посредством процентного отношения числа всходов к количеству высеванных семян, плотность почвы – по ГОСТ 20915-2011, гребнистость – по ГОСТ 33687-2015, учет урожайности – с фиксированных площадок по 1 м<sup>2</sup> в четырехкратной повторности. Отдельно была выполнена апробация разработанного выравнивателя в 2019-2021 годах на базе Учебного научно-производственного центра «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО Тверской ГСХА при выращивании льна-долгуна, льна масличного, ярового рапса, райграса однолетнего.

**Результаты.** Выявлено, что на фоне естественного плодородия средняя урожайность льно-соломы составляла 3,07 т/га с наибольшей ее величиной при использовании выравнивателя (3,28 т/га). Аналогичная закономерность сохранялась и при оценке урожайности льносемян. Уровень прибавок относительно ротационных рабочих органов составлял 4,1-18,0 % (льносоломка) и 18,6-41,7 % (льносемена). Внесение удобрений повышало урожайность семян и соломки в среднем по вариантам предпосевной обработки соответственно на 11,5 и 9,1 %. Применение разработанного рабочего органа увеличивало урожайность семян и соломки по сравнению с гладким катком (контроль) на 29,3 и 17,3 %, прутковым катком на 8,2 и 6,5%. По данным сравнительной апробации комбинированной блочно-модульной машины, снабженной блоком разработанных выравнивателей с культиватором типа КБМ, улучшение качества подготовки почвы в сочетании с усилением выживаемости семян способствовало повышению продуктивности льна-долгуна на 8,6-12,5 %, льна масличного – на 7,9-12,9%, рапса ярового – на 5,4-9,4 %, райграса однолетнего – на 6,5-10,4 %.

**Заключение.** Разработан перспективный выравнивающий рабочий орган для предпосевной подготовки почвы под посев мелкосеменных культур, позволяющий, в сравнении с широко эксплуатируемыми в производстве гладким и прутковым катками, обеспечить создание равномерного по плот-



ности семенного ложа, способствующего значительному повышению полевой всхожести семян (в частности, у льна-долгуна в пределах 14-18 %) и росту продуктивности растений до 12,9 %.

**Ключевые слова:** микрорельеф почвы, мелкосеменные культуры, выравниватель, блочно-модульный агрегат, продуктивность

**Для цитирования:** Алдошин Н. В., Васильев А. С., Голубев В. В., Никифоров М. В., Эренкова С. В. Оптимизация микрорельефа почвы при возделывании мелкосеменных культур // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т15, № 3. С. 77-84 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.37.75.011>

Original article

## OPTIMIZATION OF THE MICRORELIEF OF THE SOIL IN THE CULTIVATION OF SMALL-SEEDED CROPS

**Nikolay V. Aldoshin**<sup>1</sup>✉, **Alexander S. Vasiliev**<sup>2</sup>, **Vyacheslav V. Golubev**<sup>3</sup>, **Maxim V. Nikiforov**<sup>4</sup>, **Svetlana V. Erenkova**<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia  
<sup>2,3,4,5</sup> Tver State Agricultural Academy, Tver, Russia

<sup>1</sup> [naldoshin@yandex.ru](mailto:naldoshin@yandex.ru)

<sup>2</sup> [vasilevtgsha@mail.ru](mailto:vasilevtgsha@mail.ru)

<sup>3</sup> [slavasddg@mail.ru](mailto:slavasddg@mail.ru)

<sup>4</sup> [mnikiforov@tvgsa.ru](mailto:mnikiforov@tvgsa.ru)

<sup>5</sup> [s2012y@mail.ru](mailto:s2012y@mail.ru)

### Abstract.

**Problem and purpose.** Improving the characteristics of the soil environment to create optimal conditions for the growth and development of plants is the most important task of the tillage system. At the same time, the quality of soil preparation is of exceptional importance for small-seeded crops, the effective cultivation of which is ensured due to high requirements for the density and ridge of the surface layer of the soil, as well as for its structural and aggregate filling. The aim of the work was to study the features of the formation of the microrelief of the soil and the yield of small-seeded crops under the influence of various working bodies for pre-sowing preparation (smooth roller, rod roller, experimental leveler).

**Methodology.** Field experiments with flax were carried out in accordance with the existing methodology of experimental work at the experimental landfill of the Tver State Agricultural Academy in 2016-2018 on sod-medium-podzolic sandy loam soil. Scheme of experience (factors, gradations): A – fertilizer before sowing: 1 –  $N_0P_0K_0$ ; 2 –  $N_{30}P_{30}K_{30}$ ; B – option of pre-sowing tillage: 1 – smooth roller (control); 2 – rod roller; 3 – experimental leveler. Field germination was determined by the percentage ratio of the number of seedlings to the number of seeds sown, soil density according to GOST 20915-2011, combing according to GOST 33687-2015, accounting for yields from fixed sites of 1 m<sup>2</sup> in fourfold repetition. Separately, the testing of the developed leveler was carried out in 2019-2021 on the basis of the Agrotechnopark Educational Research and Production Center of the Tver State Agricultural Academy for the cultivation of flax, oilseed flax, spring rapeseed, annual ryegrass.

**Results.** It was revealed that against the background of natural fertility, the average yield of flax straw was 3.07 t/ha with its greatest value when using a leveler (3.28 t/ha). A similar pattern was maintained when assessing the yield of flax seeds. The level of increases relative to rotational working bodies was 4.1-18.0% (flax) and 18.6-41.7% (flax seeds). Fertilization increased the yield of seeds and straw on average for pre-sowing treatment options by 11.5 and 9.1%, respectively. The use of the developed working body increased the yield of seeds and straws compared to a smooth roller (control) by 29.3 and 17.3, a rod roller by 8.2 and 6.5%. According to the comparative approbation of a combined block-modular machine equipped with a block of developed levelers with a cultivator of the KBM type, improving the quality of soil preparation in combination with increased seed survival contributed to an increase in the productivity of flax by 8.6-12.5, oilseed flax - 7.9-12.9%, spring rapeseed - 5.4-9.4%, annual ryegrass - 6.5-10.4%.

**Conclusion.** A promising leveling working body has been developed for pre-sowing preparation of the soil for sowing small-seeded crops, which allows, in comparison with smooth and rod rollers widely used in production, to ensure the creation of a seed bed uniform in density, contributing to a significant increase in field germination of seeds (in particular, in flax, in the range of 14-18%) and an increase in plant productivity up to 12.9%.

**Key words:** microrelief of the soil, small-seeded crops, leveler, block-modular unit, productivity

**For citation:** Aldoshin N. V., Vasiliev A. S., Golubev V. V., Nikiforov M. V., Erenkova S. V. Optimization of soil microrelief during cultivation of small-seed crops // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, N. 3. P 77-84 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.37.75.011>



### Введение

Создание оптимального по продуктивности агрофитоценоза определяется комплексом взаимосвязанных, различных по длительности и интенсивности, воздействий на почву и растения [1, 2, 10]. При этом каждое из них регулируется определенными агротехническими требованиями, формируемыми, как правило, для эталонных условий, слабо учитывающих высокую вариативность микроразнообразия режимов, свойственных агрофитоценозу как динамической саморегулирующейся системе, находящейся в постоянном взаимодействии с почвенной средой [8, 12].

Кроме этого в процессе создания высокопродуктивных посевов следует учитывать, что при семенном разномнении уже с первых этапов роста и развития растение, прорастая, вынуждено преодолевать сопротивление межагрегатных связей почвенных частиц, а также обеспечивать мобильное снабжение процесса органообразования питательными веществами и влагой [13].

В таких условиях наибольшую сложность представляет достижение оптимальных значений выживаемости семенного материала мелкосеменных культур (травы, рапс, лен и др.), характеризующихся малыми размерно-массовыми параметрами и вследствие этого более низкой площадью контакта с почвенной средой [1, 11, 12]. Именно поэтому при их возделывании к наиболее важным технологическим операциям относят предпосевную подготовку почвы, которая бы обеспечила послойное оструктурирование почвенного профиля с выделением зоны семенного ложа (рис. 1), стабильно снабжаемого капиллярной влагой, представленного агрегатами размером от

0,25 до 10 мм, и выравненного мелко-агрегатного укрывного слоя (с преобладанием почвенной фракции не более 5 мм) [6, 10].

Общая толщина указанных слоев с учетом переходной зоны, расположенной под семенным ложем, и определяющей водно-воздушный режим всей области первичного развития растений, как правило, не превышает для мелкосеменных культур 7-9 см [6, 12]. Достичь указанных характеристик при реализации операций по подготовке почвы к посеву возможно только за счет применения современных рабочих органов, которые бы учитывали весь комплекс накопленных к настоящему времени знаний о биолого-технологических особенностях возделываемых растений, а также уровне используемых средств механизации [1, 9].

Анализ существующей научной литературы показал, что наиболее распространенным направлением решения данной проблематики является применение комбинированных агрегатов, снабженных в подавляющем большинстве, наряду с культиваторными лапами, ротационными рабочими органами различных конструкций [8, 14]. Однако катки не всегда способны обеспечить требуемую для создания устойчивого капиллярного водообеспечения зоны семенного ложа мелкосеменных культур плотность почвы [10]. В этой связи особое значение для предпосевной обработки приобретает использование в составе комбинированных машин альтернативных выравнивающих рабочих органов, например, платформенно-полозovidного типа, которые могут наряду с высокой степенью крошения укрывного слоя гарантировать создание достаточной плотности ниже расположенных слоев почвенного профиля.

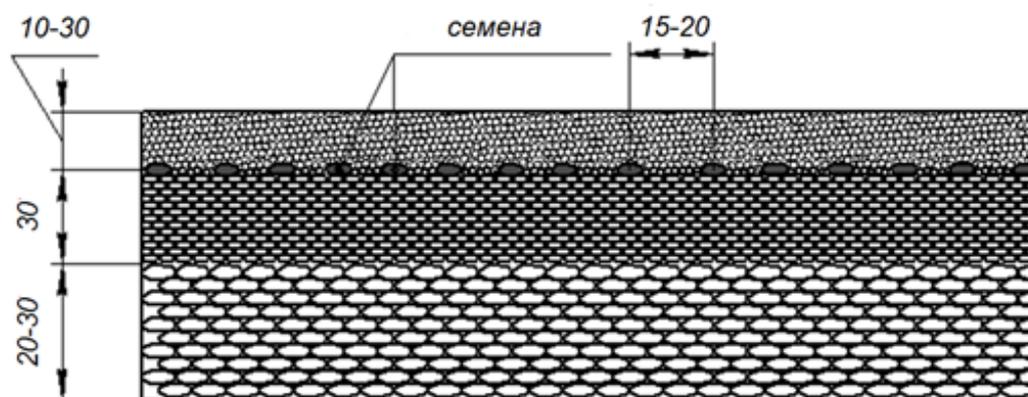


Рис. 1 – Оптимизированное строение верхнего слоя почвы под мелкосеменные культуры, мм  
Fig. 1 – Optimized structure of the topsoil for small-seeded crops, mm

Таким образом, создание оптимальных условий почвенной среды в зоне семенного ложа имеет ключевое значение в стартовом росте и развитии культурных растений, в особенности отличающихся незначительными размерно-массовыми параметрами. В связи с чем дальнейшая разработка и изучение эффективных средств механизации для контролируемого воздействия на микрорельеф является перспективной научно-технической задачей, требующей проведения комплекса отдельных исследований.

### Материалы и методы исследования

Полевые опыты с культурой льна-долгунца выполнялись на экспериментальном полигоне ФГБОУ ВО Тверская ГСХА в 2016-2018 годах. Почва опытных участков дерново-среднеподзолистая, супесчаная по механическому составу. Схема полевого опыта включала факторы: А – удобрение до посева: 1 –  $N_0P_0K_0$ ; 2 –  $N_{30}P_{30}K_{30}$ ; В – вариант предпосевной обработки почвы: 1 – гладкий каток (контроль); 2 – прутковый каток; 3 – экспериментальный полозovidный выравни-



ватель. В качестве комплексного минерального удобрения применялась «Азофоска», содержащая N:P:K в действующем веществе 15 %:15 %:15 %. Для исследований использовались семена льна-долгунца сорта Тверской (оригинатор ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь (ФНЦ ЛК)), категория – элита (ЭС). Предшественник – овес посевной. Технология возделывания льна, за исключением изучаемых приемов, была общепринятой для производственных организаций региона.

Агроклиматические условия за период проведения опытов были близкими к среднеемноголетним параметрам с варьированием тепло- и влагообеспеченности за вегетацию растений в пределах 85,2-111,9 % от значений нормы.

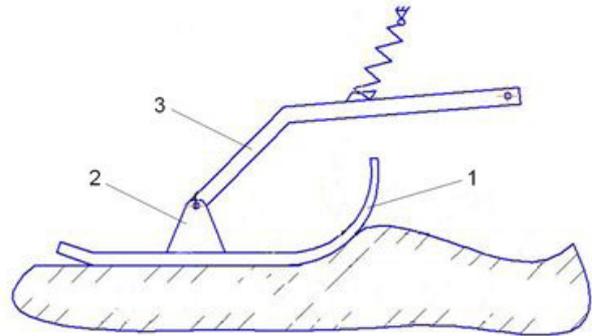
Исследования почвы и растений выполнялись по хорошо апробированным в земледелии и растениеводстве методикам [3, 4, 5, 7].

Полученные результаты полевого опыта послужили основанием для производственной апробации разработанного выравнивателя в 2019-2021 годах на базе Учебного научно-производственного центра «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО Тверской ГСХА при выращивании льна-долгунца (сортов Тверской и Сурский – оригинатор ФНЦ ЛК), льна масличного (сорт Уральский – оригинатор ФНЦ ЛК), ярового рапса (сорт Викрос – оригинатор ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса), райграса однолетнего (сорт Рапид – оригинатор ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»). В данных опытах на выделенных в четырехкратной повторности участках проводилась сравнительная оценка влияния на продуктивность мелкосеменных культур блочного-модульного агрегата, оборудованного секцией экспериментальных выравнивателей с машиной типа КБМ с прутковыми катками.

#### Результаты исследований и их обсуждение

В результате теоретических исследований был разработан инновационный выравниватель, состоящий из простых конструктивных элементов, представленных на рисунке 2. Отличительной особенностью разработанного рабочего органа является именно планировочно-разравнивающее воздействие на почву, направленное на равномерное уплотнение и выравнивание с целью создания устойчивого влагообеспечения зоны семенного ложа. Ротационные выравнивающие устройства при сходных условиях эксплуатации, как правило, характеризуются копирующим эффектом, создавая в зависимости от своей рабочей поверхности либо зоны недостаточного, либо избыточного уплотнения, что, в частности, подтверждается данными определений плотности и гребнистости поверхностного слоя почвы (рис. 3). Установлено, что оптимальная плотность поверхностного горизонта почвы (0-10 см) в пределах 1,27-1,32 г/см<sup>3</sup> была отмечена при использовании экспериментального выравнивателя. При этом гладкий каток при равных условиях не создавал достаточной плотности зоны семенного ложа, а прутковый – напротив, переуплотнял её. Указанные явления отрицательно влияли на полевую всхожесть семян льна, уменьшая её значения в среднем на

14-18 %. Усиление выживших семян положительно отразилось на формировании урожайности культуры льна, что подтверждается данными таблицы 1.



1 – выравнивающая платформа, 2 – механизм крепления, 3 – подпружиненный удерживающий рычаг

Рис. 2 – Экспериментальный выравнивающий рабочий орган полозовидного типа

1 – levelling platform, 2 – fastening mechanism, 3 – spring-loaded holding lev).

Fig. 2 – Experimental levelling working body of the polozovid type

Выбор растений льна-долгунца в качестве преобладающей мелкосеменной культуры для изучения действенности разработанного выравнивателя обусловлен их высокой требовательностью к уровню агротехнологий в целом и качеству подготовки почвы в частности. Кроме этого, лен является одной из немногих культур, продукция которых имеет многоцелевое значение и используется в полном объеме – солома и семена. Выявлено, что на фоне естественного плодородия средняя урожайность льносоломы составляла 3,07 т/га с наибольшей ее величиной при использовании экспериментального выравнивателя (3,28 т/га). Аналогичная закономерность сохранялась и при оценке урожайности льносемян. Уровень прибавок относительно ротационных рабочих органов составлял 4,1-18,0 % (льносолома) и 18,6-41,7 % (льносемена).

В свою очередь, усиление фона минерального питания повышало урожайность семян и соломы в среднем по вариантам предпосевной обработки соответственно на 11,5 и 9,1 %. Применение разработанного рабочего органа увеличивало урожайность семян и соломы по сравнению с гладким катком (контроль) на 29,3 и 17,3, прутковым катком – на 8,2 и 6,5 %.

В целом, анализируя данные урожайности в разрезе фонов минерального питания и различных средств механизации, выявлено, что применение выравнивателя для предпосевной подготовки почвы способствует росту урожайности льносоломы и семян на 18 и 42 % на неудобренном фоне и на 17 и 29 % при внесении комплексного минерального удобрения в дозах N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>.

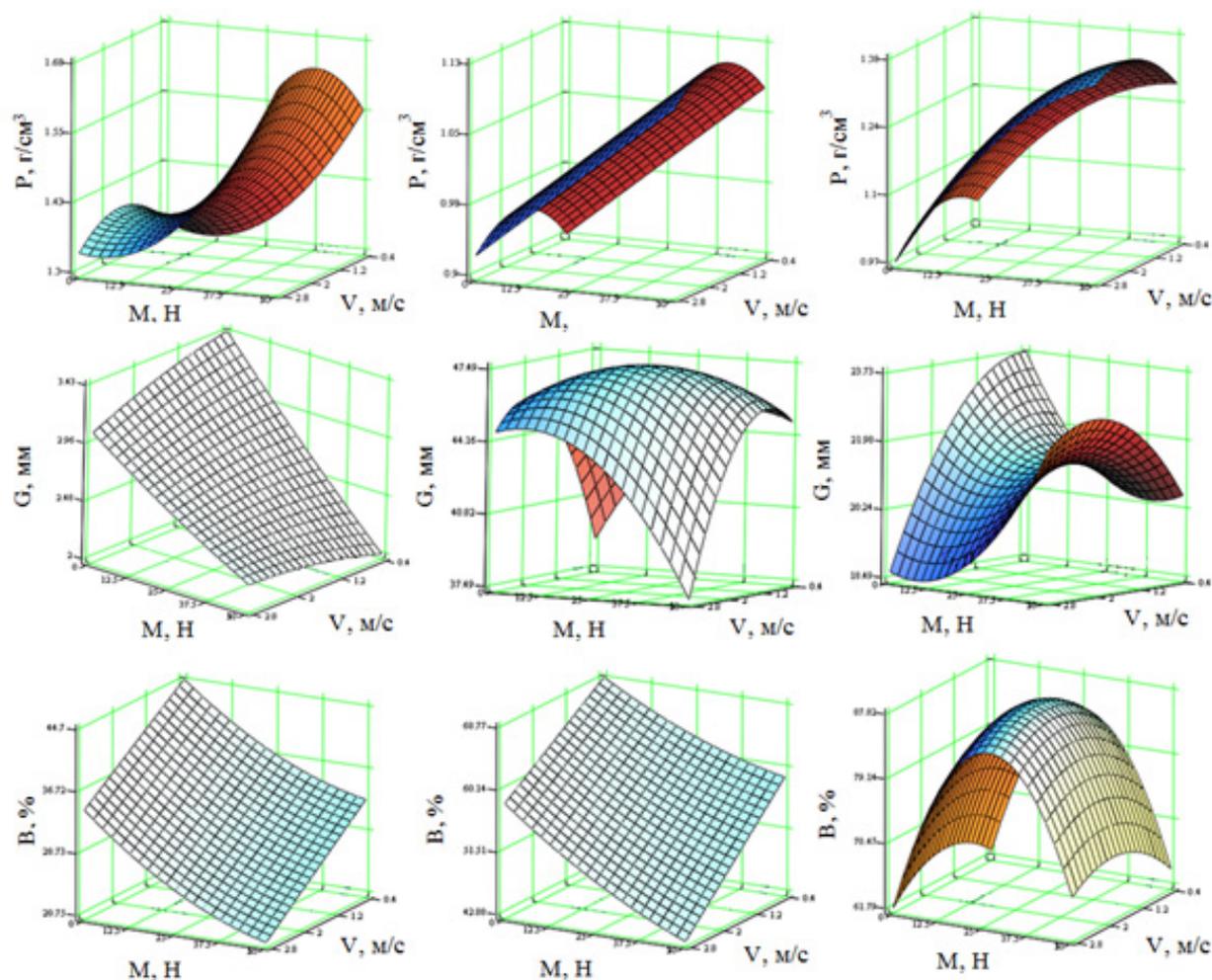


Рис. 3 – Графические зависимости изменения плотности (слой 0-10 см) (P), гребнистости поверхности почвы (G), полевой всхожести семян льна (B) в зависимости от вертикальной нагрузки (M) и скорости движения (V) рабочих органов

Fig. 3 – Graphical dependences of changes in density (layer 0-10 cm) (P), ridges of the soil surface (G), field germination of flax seeds (B) depending on the vertical load (M) and the speed of movement (V) of the working bodies

Таблица 1 – Влияние удобрений и средств механизации предпосевной обработки почвы на урожайность льна-долгунца сорта Тверской

Удобрение	Вариант предпосевной обработки	Урожайность, т/га		± к контролю, т/га		± к контролю, %	
		солома	семена	солома	семена	солома	семена
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	Гладкий каток (контроль)	2,78	0,36	0,00	0,00	0,0	0,0
	Прутковый каток	3,15	0,43	0,37	0,07	13,3	19,4
	Экспериментальный рабочий орган	3,28	0,51	0,50	0,15	18,0	41,6
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	Гладкий каток (контроль)	3,07	0,41	0,00	0,00	0,0	0,0
	Прутковый каток	3,38	0,49	0,31	0,08	10,1	19,5
	Экспериментальный рабочий орган	3,60	0,53	0,53	0,12	17,3	29,3
НСР <sub>05</sub>		0,13	0,04	-	-	-	-

В рамках исследования вопросов модернизации серийно выпускаемых отечественной промышленностью комбинированных машин разработанный выравниватель был успешно интегрирован в состав блочно-модульного агрегата

(рис. 4), который был результативно апробирован в 2019-2021 годах на базе Учебного научно-инновационного центра «Агротехнопарк» ФГБОУ ВО Тверская ГСХА.



Рис. 4 – Блок выравнивателей в составе блочно-модульного комбинированного агрегата для комплексной предпосевной обработки почвы

Fig. 4 – A block of levelers as part of a block-modular combined unit for complex pre-sowing tillage

Проверка модернизированной машины в системе предпосевной обработки почвы по сравнению со штатным агрегатом типа КБМ, снабженным прутковыми катками, показала, что ее применение обеспечивает существенное увеличение продуктивности льна-долгунца – на 11,9-12,5 % (семена), 8,6-10,9 % (соломка); льна масличного – на 12,9 % (семена), 7,9 % (соломка); рапса ярового – на 9,4 % (семена), 5,4 % (зеленая масса);

райграса однолетнего – 10,4 % (сухая фитомасса), 6,5 % (сырая фитомасса) (табл. 2). Выявленные закономерности, главным образом связаны с улучшением качества подготовки почвы к посеву, что, в свою очередь, улучшает условия прорастания семян и формирование более жизнеспособных растений, способных более пластично реагировать на воздействие различных стрессоров.

Таблица 2 – Продуктивность мелкосеменных культур при использовании разных средств механизации, т/га

Сельскохозяйственная машина	Культура (продукция)				
	Лен-долгунец		Лен масличный (соломка/семена)	Рапс яровой (зеленая масса/семена)	Райграс однолетний (фитомасса: зеленая/сухая)
	Тверской (соломка/семена)	Сурский (соломка/семена)			
Культиватор блочно-модульный с прутковыми катками	3,26/0,48	3,58/0,59	2,67/0,93	23,49/1,81	25,16/5,87
Блочно-модульный агрегат с экспериментальными выравнивателями	3,54/0,54	3,97/0,66	2,88/1,05	24,77/1,98	26,80/6,48
НСР <sub>05</sub>	0,06/0,04	0,08/0,05	0,07/0,06	0,19/0,07	0,24/0,11

### Заключение

Таким образом, при реализации комплексных исследований был разработан перспективный выравнивающий рабочий орган для предпосевной подготовки почвы под посев мелкосеменных культур, позволяющий, в сравнении с широко эксплуатируемыми в производстве гладким и прутковым катками, обеспечить создание равномерного по плотности семенного ложа, способствующего значительному повышению полевой всхожести семян (в частности, у льна-долгунца в пределах 14-18 %). По данным сравнительной апробации комбинированной блочно-модульной машины, снабженной блоком разработанных выравнивателей с культиватором типа КБМ, улучшение каче-

ства подготовки почвы в сочетании с усилением выживаемости семян способствовало повышению продуктивности льна-долгунца на 8,6-12,5, льна масличного – на 7,9-12,9 %, рапса ярового – на 5,4-9,4 %, райграса однолетнего – на 6,5-10,4 %.

На следующих этапах исследований планируется интеграция блока выравнивателей в рамках комплектования комбинированной машины, осуществляющей в едином технологическом цикле: внесение удобрений, предпосевную подготовку почвы и высев семян.

### Список источников

1. Алдошин, Н.В. Выравниватель для предпосевной подготовки почвы под лён-долгунец / Н.В. Алдошин, А.С. Васильев, В.В. Голубев, М.В.



Никифоров // *Агроэкоинженерия*. – 2023. – №1 (114). – С. 53-64. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53741319>.

2. Алдошин, Н.В. Исследования прочностных характеристик почвы / Н.В. Алдошин, А.С. Васильев, В.В. Голубев // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. – 2020. – №3 (47). – С. 68-73. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44275713>.

3. ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – М.: Стандартинформ, 2020. – 26 с. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52189/>

4. ГОСТ 33687-2015 Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2020. – 26 с. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62226/>.

5. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Альянс, 2011. – 350 с. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19517484>.

6. Никифоров, М.В. Формирование микро рельефа при возделывании льна: монография / М.В. Никифоров, А.С. Васильев, В.А. Сурайкин, А.В. Кудрявцев, В.В. Голубев. – Тверь: Тверская ГСХА, 2021. – 148 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46534692>.

7. Усанова, З.И. Методика выполнения научных исследований по растениеводству / З.И. Усанова. – Тверь: Тверская ГСХА, 2015. – 143 с. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50502931>.

8. Aldoshin, N.V. Study of seedbed preparation with rod-type soil compaction roller / N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, A.V. Kudryavtsev, V.V. Golubev, A.Yu. Alipichev // *Agricultural Engineering*. – 2020. – № 2 (96). – С. 9-16. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43105820>.

*Вклад авторов:*

*Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

## References

1. Aldoshin, N.V. Vyravnivatel dlya predposevnoy podgotovki pochvy pod len-dolgunets / N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, V.V. Golubev, M.V. Nikiforov // *Agroekoinzheneriya*. – 2023. – №1 (114). – С. 53-64. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53741319>.

2. Aldoshin, N.V. Issledovaniya prochnostnykh kharakteristik pochvy / N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, V.V. Golubev // *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva*. – 2020. – №3 (47). – С. 68-73. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44275713>.

3. GOST 20915-2011 Ispytaniya selskokhozyaystvennoy tekhniki. Metody opredeleniya usloviy ispytaniy. – М.: Standartinform, 2020. – 26 s. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52189/>

4. GOST 33687-2015 Mashiny i orudiya dlya poverkhnostnoy obrabotki pochvy. Metody ispytaniy. – М.: Standartinform, 2020. – 26 s. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62226/>.

5. Dospikhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy) / B.A. Dospikhov. – М.: Alyans, 2011. – 350 s. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19517484>.

6. Nikiforov, M.V. Formirovanie mikrorel'efa pri vozdeleyvanii lna: monografiya / M.V. Nikiforov, A.S. Vasiliev, V.A. Suraykin, A.V. Kudryavtsev, V.V. Golubev. – Tver: Tverskaya GSKhA, 2021. – 148 s. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46534692>.

7. Usanova, Z.I. Metodika vpolneniya nauchnykh issledovaniy po rastenievodstvu / Z.I. Usanova. – Tver: Tverskaya GSKhA, 2015. – 143 s. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50502931>.

8. Aldoshin, N.V. Study of seedbed preparation with rod-type soil compaction roller / N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, A.V. Kudryavtsev, V.V. Golubev, A.Yu. Alipichev // *Agricultural Engineering*. – 2020. – № 2 (96). – С.

9. Aldoshin, N.V. Improvement of forage lands in central non-black earth zone of Russia by using some integrated approaches / N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, A.V. Kudryavtsev, A.S. Firsov, V.V. Golubev, L.Y. Vasilieva // *Plant Science Today*. – 2021. – Т. 8. – № 1. – С. 9-15. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45022164>.

10. Arvidsson, J. Early sowing – a system for reduced seedbed preparation in Sweden / J. Arvidsson, T. Rydberg, V. Feiza // *Soil & Tillage Research*. – 2000. – Vol. 53. – Is. 2. – P. 145–155. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=199329>.

11. Couture, S.J. Influence of seeding depth and seedbed preparation on establishment, growth and yield of fibre flax (*Linum usitatissimum* L.) in Eastern Canada / S.J. Couture, A. Ditommaso, W.L. Asbil, A.K. Watson // *Journal of Agronomy and Crop Science*. – 2004. – Vol. 190. – Is. 3. – P. 184–190. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=6524368>.

12. Hakansson, I. A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden / I. Hakansson, A. Myrbeck, A. Etana // *Soil & Tillage Research*. – 2002. – Vol. 64. – Is. 1-2. – P. 23-40. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=841461>.

13. Monti A., Ventiri P., Elbersen H.W. Evaluation of the establishment of lowland and upland switchgrass (*Panicum virgatum* L.) varieties under different tillage and seedbed conditions in Northern Italy / A. Monti, P. Ventiri, H.W. Elbersen // *Soil & Tillage Research*. – 2001. – Vol. 63. – Is. 1-2. – P. 75–83. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=818776>.

14. Nasr, G.E. Technical evaluation of a new combined implement for seedbed preparation / G.E. Nasr, M.Y. Tayel, Y.B. Abdelhay, K.P. Sabreen, S.S. Dina // *International Journal of Chemtech Research*. – 2016. – Vol. 9. – Is. 5. – P. 193–199. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28467755>.



9-16. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43105820>.

9. Aldoshin, N.V. Improvement of forage lands in central non-black earth zone of Russia by using some integrated approaches / N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, A.V. Kudryavtsev, A.S. Firsov, V.V. Golubev, L.Y. Vasilieva // *Plant Science Today*. – 2021. – Т. 8. – № 1. – С. 9-15. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45022164>.

10. Arvidsson, J. Early sowing – a system for reduced seedbed preparation in Sweden / J. Arvidsson, T. Rydberg, V. Feiza // *Soil & Tillage Research*. – 2000. – Vol. 53. – Is. 2. – P. 145–155. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=199329>.

11. Couture, S.J. Influence of seeding depth and seedbed preparation on establishment, growth and yield of fibre flax (*Linum usitatissimum* L.) in Eastern Canada / S.J. Couture, A. Ditommaso, W.L. Asbil, A.K. Watson // *Journal of Agronomy and Crop Science*. – 2004. – Vol. 190. – Is. 3. – P. 184–190. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=6524368>.

12. Hakansson, I. A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden / I. Hakansson, A. Myrbeck, A. Etana // *Soil & Tillage Research*. – 2002. – Vol. 64. – Is. 1-2. – P. 23-40. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=841461>.

13. Monti A., Ventiri P., Elbersen H.W. Evaluation of the establishment of lowland and upland switchgrass (*Panicum virgatum* L.) varieties under different tillage and seedbed conditions in Northern Italy / A. Monti, P. Ventiri, H.W. Elbersen // *Soil & Tillage Research*. – 2001. – Vol. 63. – Is. 1-2. – P. 75–83. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=818776>.

14. Nasr, G.E. Technical evaluation of a new combined implement for seedbed preparation / G.E. Nasr, M.Y. Tayel, Y.B. Abdelhay, K.P. Sabreen, S.S. Dina // *International Journal of Chemtech Research*. – 2016. – Vol. 9. – Is. 5. – P. 193–199. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28467755>.

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### Информация об авторах

**Алдошин Николай Васильевич**, д-р техн. наук, гл. научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, [naldoshin@yandex.ru](mailto:naldoshin@yandex.ru)

**Васильев Александр Сергеевич**, д-р с.-х. наук, доцент, зав. кафедрой агробиотехнологий, перерабатывающих производств и семеноводства, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, [vasilevtgsha@mail.ru](mailto:vasilevtgsha@mail.ru)

**Голубев Вячеслав Викторович**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологических и транспортных машин и комплексов, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, [slavasddg@mail.ru](mailto:slavasddg@mail.ru)

**Никифоров Максим Викторович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технической эксплуатации автомобилей, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, [mnikiforov@tvgscha.ru](mailto:mnikiforov@tvgscha.ru)

**Эренкова Светлана Владимировна**, аспирант кафедры агробиотехнологий, перерабатывающих производств и семеноводства, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, [s2012y@mail.ru](mailto:s2012y@mail.ru)

#### Author information

**Aldoshin Nikolay V.**, Doctor of Technical Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, [naldoshin@yandex.ru](mailto:naldoshin@yandex.ru)

**Vasiliev Alexander S.**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agrobiotechnologies, Processing Industries and Seed Production, Tver State Agricultural Academy, [vasilevtgsha@mail.ru](mailto:vasilevtgsha@mail.ru)

**Golubev Vyacheslav V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technological and Transport Machines and Complexes, Tver State Agricultural Academy, [slavasddg@mail.ru](mailto:slavasddg@mail.ru)

**Nikiforov Maxim V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Operation of Cars, Tver State Agricultural Academy, [mnikiforov@tvgscha.ru](mailto:mnikiforov@tvgscha.ru)

**Erenkova Svetlana V.**, Postgraduate student of the Department of Agrobiotechnology, Processing Industries and Seed Production, Tver State Agricultural Academy, [s2012y@mail.ru](mailto:s2012y@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 24.08.2023; одобрена после рецензирования 06.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 24.08.2023; approved after reviewing 06.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.



Вестник РГАТУ, 2023, т.15, №3, с. 85-91  
Vestnik RGATU, 2023, Vol.15, №3, pp 85-91

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 631.171  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.84.84.012

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВОГО ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛОМЫ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ

Илья Юрьевич Богданчиков <sup>1</sup>✉, Сергей Николаевич Борычев <sup>2</sup>, Константин Николаевич Дрожжин <sup>3</sup>, Сергей Владимирович Митрофанов <sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

<sup>3</sup> ОАО «Рязаньагрохим», г. Рязань, Россия

<sup>4</sup> НИУ Высшая школа экономики, г. Москва, Россия

<sup>1</sup> mc62@mail.ru

<sup>2</sup> university@rgatu.ru

<sup>3</sup> drozhzhin.k@ryazanagrohim.ru

<sup>4</sup> smitrofanov@hse.ru

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Использование соломы в качестве удобрения ограничено из-за длительного срока её разложения. Цель исследования – изучить эффективность комплексного использования биопрепаратов-деструкторов и жидких азотных удобрений для ускорения процесса разложения соломы, используемой в качестве удобрения.

**Методология.** Весной произвели обработку соломы и стерневых остатков по вариантам: рабочим раствором биопрепаратов-деструкторов Agrinos 1 – 2 л/га; Стернифаг СП – 0,08 кг/га; Стернифаг СП+КАС-32 – 0,08 кг/га + 35 кг/га; внесение аммиачной селитры – 50 кг/га; вариант без обработки и внесения азотных удобрений в качестве контроля. Оценка целлюлолитической активности почвы – по интенсивности разложения льняных полотен (использовался метод льняных полотен). Степень разложения полотен оценивалась на 20-е, 40-е, 60-е, 80-е и 100-е сутки. В программе Microsoft Excel были построены полиномиальные тренды с прогнозом разложения льняных полотен до 140 суток. На каждом опытном участке проводился комплексный агрохимический анализ почвы, который включал: pH; обменный калий; подвижный фосфор; нитратный азот (NO<sub>3</sub>); органическое вещество; цинк (Zn); медь (Cu); серу (S); бор (B). Тест-культура в исследованиях – яровой рапс сорта «Рубеж». Фактическая урожайность определялась взвешиванием убранного урожая с каждого варианта.

**Результаты.** В среднем удалось увеличить урожайность на 3,24 ц/га (17,48 %), наилучшие показатели были достигнуты на варианте с комплексным использованием биопрепарата Стернифаг СП и жидкого азотного удобрения КАС-32 – 19,6 ц/га. Процесс разложения в данном опыте протекал интенсивней на вариантах с дополнительным внесением азотных удобрений, скорость разложения растительных остатков увеличилась в среднем на 25,69 %.

**Заключение.** Комплексное использование биопрепаратов-деструкторов и жидких азотных удобрений позволило ускорить процесс разложения соломы, в среднем, на 28 % и увеличить урожайность на 4,3 ц/га на варианте с яровым рапсом. Из рассматриваемых вариантов наибольшую эффективность показал вариант с использованием Стернифаг СП+КАС-32 в дозировке 0,08 кг/га+35 кг/га соответственно.

**Ключевые слова:** солома, разложение, удобрение, биопрепарат-деструктор, азотное удобрение, урожайность, рапс

**Для цитирования:** Богданчиков И.Ю., Борычев С.Н., Дрожжин К.Н., Митрофанов С.В. Результаты полевого опыта использования соломы в качестве удобрения // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т15, № 3 С. 85-91 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.84.84.012>



Original article

## RESULTS OF FIELD EXPERIENCE OF USING STRAW AS FERTILIZER

Ilya Yu. Bogdanchikov<sup>1</sup> ✉, Sergey N. Borychev<sup>2</sup>, Konstantin N. Drozhzhin<sup>3</sup>, Sergey V. Mitrofanov<sup>4</sup><sup>1,2</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia<sup>3</sup> OJSC Ryazanagrokhim, Ryazan, Russia<sup>4</sup> Higher School of Economics, Moscow, Russia<sup>1</sup> mc62@mail.ru<sup>2</sup> university@rgatu.ru<sup>3</sup> drozhzhin.k@ryazanagrokhim.ru<sup>4</sup> smitrofanov@hse.ru**Annotation.**

**Problem and purpose.** The use of straw as fertilizer is limited due to the long duration of its decomposition. The purpose of the study is to study the effectiveness of the integrated use of biological degradation agents and liquid nitrogen fertilizers to accelerate the process of decomposition of straw used as a fertilizer.

**Methodology.** In the spring, straw and stubble residues were treated according to the following options: with a working solution of Agrinos 1-2 l/ha biologics; Sterniphage SP - 0.08 kg/ha; Sterniphage SP + CAS-32 - 0.08 kg/ha + 35 kg/ha; adding ammonium nitrate - 50 kg/ha; option without treatment and application of nitrogen fertilizers as a control. Assessment of soil cellulosic activity by the intensity of linen web decomposition (linen web method was used). The degree of degradation of the webs was estimated at 20, 40, 60, 80 and 100 days. In the Microsoft Excel program, polynomial trends were built with a forecast of the decomposition of linen fabrics up to 140 days. A comprehensive agrochemical soil analysis was performed on each pilot, which included: pH; exchange potassium; mobile phosphorus; nitrate nitrogen (NO<sub>3</sub>); organic matter, zinc (Zn), copper (Cu), sulfur (S), boron (B). Test culture in research - spring rape variety "Rubezh." The actual yield was determined by weighing the harvested yield from each option.

**Results.** On average, it was possible to increase the yield by 3.24 c/ha (17.48%), the best indicators were achieved in the version with the integrated use of Sterinfag SP biologics and liquid nitrogen fertilizer KAS-32-19.6 c/ha. The decomposition process in this test was more intensive in variants with additional application of nitrogen fertilizers, the decomposition rate of plant residues increased by an average of 25.69%.

**Conclusion.** The integrated use of biologics-destroyers and liquid nitrogen fertilizers made it possible to speed up the process of decomposition of straw, on average, by 28% and increase the yield by 4.3 c/ha on the version with spring rapeseed. Of the cases considered, the most effective option was the Sterniphag SP + CAS-32 at a dose of 0.08 kg/ha + 35 kg/ha, respectively.

**Key words:** straw, decomposition, fertilizer, biological agent-destroyer, nitrogen fertilizer, yield, rapeseed.

**For citation:** Yu. Bogdanchikov, S.N. Borychev, K.N. Drozhzhin, S.V. Mitrofanov. Results of field experience in the use of straw as fertilizer // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 3, P. 85-91 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.84.84.012>

**Введение**

Сдерживающим фактором использования растительных остатков в качестве удобрения является длительный период их разложения в почве, который сопровождается выделением фенольных соединений, оказывающих негативное воздействие на развитие последующих культур. С другой стороны, использования незерновой части урожая (солома) в качестве удобрений является перспективным направлением, так как позволяет экономить ресурсы на её уборку и транспортировку с поля. Только при производстве зерновых культур до 2/3 всего биологического урожая приходится именно на побочную продукцию – солому. Известно, что внесение компенсирующих доз азотного удобрения способствует ускорению процесса разложения растительных остатков, но чрезмерное использование минеральных удобрений способствует накоплению в почве солей тяжелых металлов, что в конечном итоге отражается на качестве получаемой продукции [1-4]. В настоящее время

широкое распространение получили биопрепараты-деструкторы растительных остатков [2-7], которые способствуют ускорению процесса разложения растительных остатков в почве, а также подавляют патогенную микрофлору в почве [4-5]. Практический и научный интерес вызывает эффективность применения биопрепаратов-деструкторов в различных почвенно-климатических условиях и их комплексном использовании с жидкими азотными удобрениями [4-11].

Цель исследования – изучить эффективность комплексного использования биопрепаратов-деструкторов и жидких азотных удобрений для ускорения процесса разложения соломы, используемой в качестве удобрения.

**Методика исследований**

Исследования проводились в 2020 году на опытной поле ООО «Агрохим» Старожиловского района Рязанской области площадью 6 гектар. Тип почвы – серые лесные, поле ровное (средний уклон не превышает 1 %). В мае при помощи са-



моходного опрыскивателя БАРС ОС-3000 (рис. 1) произвели обработку соломы и стерневых остатков по следующим вариантам: рабочим раствором биопрепарата-деструктора Agrinos 1 – 2 л/га; Стернифаг СП – 0,08 кг/га; жидким азотным удобрением (смесь аммиачной селитры и карбамида с содержанием 32 процентов азота (КАС-32)) – 50 кг/га; комплексное использование Стернифаг СП и КАС-32 – 0,08 кг/га + 35 кг/га и один вариант с внесением гранулированных азотных удобрений (аммиачная селитра) – 50 кг/га (вносился навесным центробежным разбрасывателем Amazone ZA-M 900). На контрольном участке солома и стерневые остатки не обрабатывались. Далее следовала заделка растительных остатков тяжелой дисковой бороной БДМ 8х2 в почву на глубину 0,10-0,15 м. В качестве тест-культуры в исследованиях выступил яровой рапс сорта «Рубеж» (среднеспелый, с вегетационным периодом до 130 дней, характеризуется высокой степенью адаптации к агроклиматическим условиям регионов Европейской части России [1]). Посев производили сеялкой Amazone

D9 6000ТС с нормой высева 5,0 кг/га. Агротехника соответствовала региональным рекомендациям. В таблице 1 представлена схема закладки опытов.



Рис. 1 – Обработка стерневых остатков рабочим раствором биопрепаратов-деструкторов  
Fig. 1 – Treatment of stubble residues with a working solution of biological degradation agents

Таблица 1 – Схема закладки опытов

Вариант 1 1 га	Вариант 2 1 га	Вариант 3 1 га	Вариант 4 1 га	Вариант 5 1 га	Вариант 6 1 га
Контроль	Аммиачная селитра	Agrinos 1	Стернифаг СП	Стернифаг СП +КАС-32	КАС-32
стерневые остатки и солома заделывались в почву без обработки биопрепаратами и без внесения азотных удобрений	внесение разбросным способом перед заделкой в почву стерневых остатков и соломы (50 кг/га)	обработка стерневых остатков и соломы поверхностным опрыскиванием перед заделкой в почву (2 л/га)	обработка стерневых остатков и соломы поверхностным опрыскиванием перед заделкой в почву (0,08 кг/га)	обработка стерневых остатков и соломы поверхностным опрыскиванием перед заделкой в почву (0,08 кг/га + 35 /га)	обработка стерневых остатков и соломы поверхностным опрыскиванием перед заделкой в почву (50 л/га)

Для оценки целлюлолитической активности почвы по интенсивности разложения льняных полотен использовался метод льняных полотен. На каждом варианте было установлено по 80 льняных полотен (размер полотен – 120х620 мм, глубина закладки в почву – 0,3 м). Степень разложения полотен оценивалась на 20-е, 40-е, 60-е, 80-е и 100-е сутки. В программе Microsoft Excel был построен полиномиальный тренд с прогнозом разложения льняных полотен до 140 суток.

На каждом опытном участке был проведен комплексный агрохимический анализ почвы. Изучаемые показатели: кислотность (водородный показатель); обменный калий; подвижный фосфор; нитратный азот (NO<sub>3</sub>); органическое вещество; цинк (Zn), медь (Cu), сера (S), бор (B).

На протяжении всего времени проведения опыта, от утилизации растительных остатков до момента уборки ярового рапса, фиксировалась среднесуточная температура окружающего воз-

духа и количество выпавших осадков, полученные данные сравнивались со средними за все время наблюдения.

На всех этапах развития растений (ярового рапса) определяли потребность азотного питания по содержанию хлорофилла в листьях растений (использовали прибор «N-тестер»). Измерения производили по диагонали каждой опытной деланки по 30 измерений в каждой серии, не менее трех серий на вариант. Адекватность полученных значений сопоставлялась с индексами вегетативной активности NDVI, полученными при помощи обработки мультиспектральных снимков (использовали беспилотный летательный аппарат dji phantom 4 pro с камерой Parrot Sequoia, обработка снимков проводилась в программе Agisoft Metashape Professional).

Фактическая урожайность определялась методом взвешивания убранного урожая с каждой опытной деланки (рис. 2).



Рис. 2 – Выгрузка убранного рапса с опытной делянки для последующего взвешивания  
Fig. 2 – Unloading of retracted rapeseed from experimental plot for subsequent weighing

проведен комплексный химический анализ почвы по каждому варианту опыта, результаты представлены в таблице 2. На рисунке 3 представлен график целлюлозлитической активности почвы в виде изменения массы льняных полотен в процентах от первоначальной. В таблице 2 представлены результаты измерения содержания хлорофилла в листьях рапса прибором «N-тестер» (для оценки потребности растений в азотном питании). В таблице 3 представлены показатели урожайности ярового рапса.

За время проведения опыта среднее отклонение температуры от значений за все время наблюдений составило +0,15° С (температура в июне и июле была ниже, в среднем на 0,6° С). В мае и июне количество выпавших осадков было существенно выше, чем за все время наблюдений, в среднем, на 26 мм. Однако за все время проведения опытов осадков выпало меньше, в среднем, на 15 мм, чем за все время наблюдений.

### Результаты исследований

По завершении эксперимента, осенью, был

Таблица 2 – Результаты химического анализа почвы по вариантам

Варианты	Контроль	Аммиачная селитра	Agrinos 1	Стернифаг СП	Стернифаг СП +КАС-32	КАС-32
Показатель						
рН	4,0	4,0	3,9	3,9	4,0	4,0
обменный калий, мг/кг почвы	23	108	77	89	100	105
подвижный фосфор, мг/кг почвы	50	55	61	83	89	88
NO <sub>3</sub> , мг/кг почвы	3,12	8,02	8,16	4,79	26,18	47,53
органическое вещество, %	2,41	1,97	2,43	2,59	2,62	2,57
Цинк (Zn), мг/кг почвы	0,75	0,63	0,50	0,88	0,50	0,63
Медь (Cu), мг/кг почвы	6,30	4,80	6,00	6,90	5,00	5,20
Сера (S), мг/кг почвы	1,5	7,80	4,3	5,4	5,8	5,9
Бор (B), мг/кг почвы	0,48	0,38	0,60	0,45	0,56	0,51

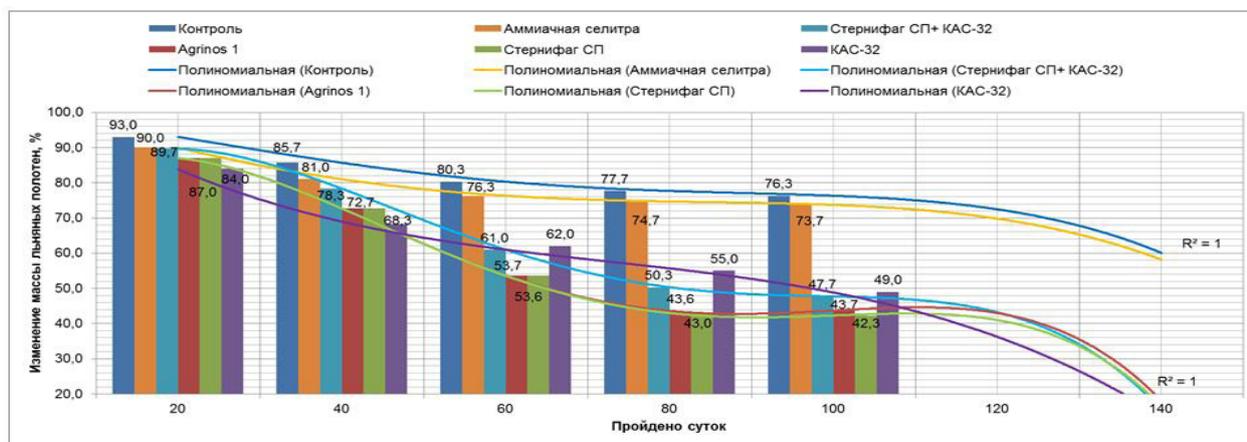


Рис. 3 – График целлюлозлитической активности почвы в виде изменения массы льняных полотен в процентах от первоначальной и прогноз

Fig. 3 – Plot of soil cellulosic activity in the form of change in linen web weight as a percentage of the original and forecast



Несмотря на недостаток влаги в первые месяцы после заделки соломы в почву, процесс разложения протекал интенсивно. Биопрепараты-деструкторы Agrinos 1 и Стернифаг СП показали свою эффективную работу, за 100 суток разложение растительных остатков составило более 58 %. Незначительно отстают варианты с использованием КАС-32 и сочетанием Стернифаг СП+КАС-32 (разложение составило более 51 % за 100 суток). Построенные полиномиальные тренды позволили

спрогнозировать, что к 140 суткам на вариантах Agrinos 1, Стернифаг СП, Стернифаг СП+КАС-32, КАС-32 растительный материал разложиться более чем на 80%.

Показатели содержания хлорофилла в листьях на разных стадиях развития растения (табл. 3) показывают, что на вариантах с обработкой Стернифаг СП, КАС-32 и Стернифаг СП+КАС-32 азотное питание растениям обеспечивалось в большей мере, чем в контрольном варианте.

Таблица 3 – Результаты измерения содержания хлорофилла в листьях рапса прибором «N-тестер»

Варианты Показатель	Контроль	Аммиачная селитра	Agrinos 1	Стернифаг СП	Стернифаг СП+КАС-32	КАС-32
18-е сутки	382	385	392	411	405	402
42-е сутки	691	694	703	830	779	778
68-е сутки	683	745	689	794	801	799

Показатели урожайности ярового рапса показывают, что лучший результат удалось достичь при совместном использовании Стернифаг СП+КАС-32 – 19,6 ц/га и при использовании азотных удобрений (КАС-32 и аммиачной селитры). На вариантах с использованием биопрепаратов Agrinos 1 и

Стернифаг СП урожайность была выше на 14 % по сравнению с контролем, но меньше на 9,1 % чем в остальных вариантах, что можно объяснить недостатком азота, который активно использовался при разложении растительных остатков (табл. 4).

Таблица 4 – Показатели урожайности ярового рапса (сорт «Рубеж»)

Варианты Показатель	Контроль	Аммиачная селитра	Agrinos 1	Стернифаг СП	Стернифаг СП+КАС-32	КАС-32
Урожайность, ц/га	15,3	19,0	17,2	17,7	19,6	19,2

Обследование опытного поля при помощи БПЛА позволило определить наличие почвенных неоднородностей, которые связаны с наличием незначительных уклонов, что приводило к неравномерному распределению элементов питания в почве под действием осадков в мае и июне (превышали показатели за все время наблюдения). Негативно это сказалось на варианте с внесением аммиачной селитры, так как на начальном этапе разложения растительных остатков в почве азот с дождевой водой ушёл глубже и был мене доступен целлюлозоразлагающим бактериям.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что жидкие азотные удобрения, по сравнению с гранулированными, лучше усваиваются растениями, так как азот переходит в коллоидную форму. Также следует отметить удобство их внесения при помощи сельскохозяйственных опрыскивателей, а при комплексном использовании с биопрепаратами-деструкторами не нужно задействовать дополнительные машинно-тракторные агрегаты.

#### Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что комплексное использование биопрепаратов-деструкторов и жидких азотных удобрений позволяет ускорить процесс разложения соломы, в среднем, на 28 % и увеличить

урожайность на 4,3 ц/га на варианте с яровым рапсом. Урожайность тест-культуры была выше на вариантах с применением азотных удобрений, что свидетельствует об эффективности использования биопрепаратов-деструкторов в комплексе с жидкими азотными удобрениями.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение биопрепаратов-деструкторов совместно с жидкими азотными удобрениями позволяют повысить эффективность использования соломы в качестве удобрения. Из рассматриваемых вариантов наибольшую эффективность показал вариант с использованием Стернифаг СП + КАС-32 в дозировке 0,08 кг/га + 35 кг/га соответственно.

#### Список источников

1. Джувеликян, Х. А. Современные проблемы природного и техногенного загрязнения окружающей среды (обзор) / Х. А. Джувеликян, И. В. Черепухина // Живые и биокосные системы. – 2017. – № 22. – С. 8.
2. Генофонд рапса и его использование в селекции / Я. Э. Пиллюк, О. А. Пикун, А. В. Бакановская, Н. Н. Бобко // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2013. – № 49. – С. 250-259.
3. Основы системной технологии восстановления почвенного плодородия с использованием не-



зерновой части урожая и сидеральных культур / А. М. Бондаренко, А. Ю. Несмиян, Л. С. Качанова, Ю. Г. Кормильцев // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 3(47). – С. 29-34.

4. Кудеяров, В. Н. Проблемы агрохимии и современное состояние химизации сельскохозяйственного производства в Российской Федерации / В. Н. Кудеяров, В. М. Семенов // Агрохимия. – 2014. – № 10. – С. 3-17.

5. Русакова, И. В. Теоретические основы и методы управления плодородием почв при использовании растительных остатков в земледелии / И. В. Русакова. – Иваново: Издательско-полиграфический комплекс "ПрессСто", 2016. – 131 с.

6. Use of straw in organic farming / I.Y. Bogdanchikov, N.V. Byshov, A. N. Bachurin, M.A. Yesenin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, 04–05 июля 2020 года. – Omsk City, Western Siberia, 2021. – P. 012220.

7. Improving the efficiency of using straw as a fertilizer / I. Y. Bogdanchikov, A. N. Bachurin, K. N. Drozhzhin, D. O. Oleynik // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, 29–30 марта 2021 года. – Omsk City, 2022. – P. 012013.

8. Русакова, И. В. Эффективность микробных деструкторов послеуборочных остатков в лабораторных и полевых экспериментах / И. В. Русакова // Владимирский земледелец. – 2021. – № 2(96). – С. 34-40.

9. Rusakova, I. V. Microbiological and ecophysiological parameters of sod-podzolic soil upon long-term application of straw and mineral fertilizers, the correlation with the yield / I. V. Rusakova // Agricultural Biology. – 2020. – Vol. 55, No. 1. – P. 153-162.

10. Наими, О.И. Особенности использования соломы в качестве органического удобрения / О.И. Наими // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 9-1. – С. 10-13.

11. Использование незерновой части урожая сои в качестве органического удобрения / И. М. Присяжная, М. О. Синеговский, С. П. Присяжная, В. Т. Синеговская // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2022. – № 1. – С. 62-66.

12. Абуова, А.Б. Оценка пространственной неоднородности агрохимических параметров почвы в пределах делянки полевого опыта / А. Б. Абуова, С. А. Тулькубаева, Ю. В. Тулаев // 3i: intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация. – 2019. – № 2. – С. 36-43.

13. Пасынков, А.В. Эффективность азотных удобрений при возделывании яровой тритикале на супесчаных почвах / А. В. Пасынков, Ю. В. Хомяков, Е. Н. Пасынкова // Агрохимический вестник. – 2021. – № 4. – С. 23-28.

14. Завалин А. А., Соколов О.А. Азот и качество зерна пшеницы // Плодородие, 2018. № 1. С. 14-17.

#### Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### References

1. Dzhavelikyan, H. A. *Sovremennye problemy prirodnoy i tekhnogennoy zagryazneniya okruzhayushchej sredy (obzor)* / H. A. Dzhavelikyan, I. V. Cherepuhina // ZHivye i biokosnye sistemy. – 2017. – № 22. – S. 8.

2. *Genofond rapsa i ego ispol'zovanie v selekcii* / YA. E. Pilyuk, O. A. Pikun, A. V. Bakanovskaya, N. N. Bobko // Zemledelie i selekciya v Belarusi. – 2013. – № 49. – S. 250-259.

3. *Osnovy sistemnoj tekhnologii vosstanovleniya pochvennogo plodorodiya s ispol'zovaniem nezernovoj chasti urozhaya i sideral'nyh kul'tur* / A. M. Bondarenko, A. YU. Nesmiyan, L. S. Kachanova, YU. G. Kormil'cev // Vestnik agrarnoy nauki Dona. – 2019. – № 3(47). – S. 29-34.

4. *Kudeyarov, V. N. Problemy agrohimii i sovremennoe sostoyanie himizatsii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva v Rossijskoj Federacii* / V. N. Kudeyarov, V. M. Semenov // Agrohimiya. – 2014. – № 10. – S. 3-17.

5. *Rusakova, I. V. Teoreticheskie osnovy i metody upravleniya plodorodiem pochv pri ispol'zovanii rastitel'nyh ostatkov v zemledelii* / I. V. Rusakova. – Ivanovo : Izdatel'sko-poligraficheskij kompleks "PressSto", 2016. – 131 s.

6. *Use of straw in organic farming* / I.Y. Bogdanchikov, N.V. Byshov, A. N. Bachurin, M.A. Yesenin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, 04–05 iyulya 2020 goda. – Omsk City, Western Siberia, 2021. – P. 012220.

7. *Improving the efficiency of using straw as a fertilizer* / I. Y. Bogdanchikov, A. N. Bachurin, K. N. Drozhzhin, D. O. Oleynik // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, 29–30 marta 2021 goda. – Omsk City, 2022. – P. 012013.

8. *Rusakova, I. V. Effektivnost' mikrobnyh destrukturov posleuborochnyh ostatkov v laboratornyh i polevyh eksperimentah* / I. V. Rusakova // Vladimirskij zemledelec. – 2021. – № 2(96). – S. 34-40.

9. *Rusakova, I. V. Microbiological and ecophysiological parameters of sod-podzolic soil upon long-term application of straw and mineral fertilizers, the correlation with the yield* / I. V. Rusakova // Agricultural Biology. – 2020. – Vol. 55, No. 1. – P. 153-162.

10. *Naimi, O.I. Osobennosti ispol'zovaniya solomy v kachestve organicheskogo udobreniya* / O.I. Naimi // Mezhdunarodny zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. – 2019. – № 9-1. – S. 10-13.

11. *Ispol'zovanie nezernovoj chasti urozhaya soi v kachestve organicheskogo udobreniya* / I. M. Prisyazhnaya, M. O. Sinegovskij, S. P. Prisyazhnaya, V. T. Sinegovskaya // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. –



2022. – № 1. – S. 62-66.

12. Abuova, A.B. Ocenka prostanstvennoj neodnorodnosti agrohicheskikh parametrov pochvy v predelah delyanki polevogo opyta / A. B. Abuova, S. A. Tul'kubaeva, YU. V. Tulaev // 3i: intellect, idea, innovation - intellekt, ideya, innovaciya. – 2019. – № 2. – S. 36-43.

13. Pasyнков, A.V. Effektivnost' azotnyh udobrenij pri vzdelyvanii yarovoj tritikale na supeschanyh pochvah / A. V. Pasyнков, YU. V. Homyakov, E. N. Pasynkova // Agrohicheskij vestnik. – 2021. – № 4. – S. 23-28.

14. Zavalin A. A., Sokolov O.A. Azot i kachestvo zerna pshenicy // Plodorodie, 2018. № 1. S. 14-17.

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### Информация об авторах

**Богданчиков Илья Юрьевич**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка», Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, mc62@mail.ru

**Борычев Сергей Николаевич**, д-р техн. наук, профессор, первый проректор, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, university@rgatu.ru

**Дрожжин Константин Николаевич**, канд. с.-х. наук, доцент, зам. директора ОАО «Рязаньагрохим», drozhzhin.k@ryazanagrohim.ru

**Митрофанов Сергей Владимирович**, канд. с.-х. наук, научный сотрудник, Высшая школа экономики, smitrofanov@hse.ru

#### Author Information

**Bogdanchikov Ilya Yu.**, Cand. Tech. Sciences, associate professor, associate professor «Operation of the machine and tractor park», Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, mc62@mail.ru

**Borychev Sergey N.**, Dr. technical Sciences, Professor, First Vice-Rector Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev university@rgatu.ru

**Drozhhin Konstantin N.**, Cand. of Agricultural Sciences, associate professor, Deputy Director of OJSC Ryazanagrokhim, drozhzhin.k@ryazanagrohim.ru

**Mitrofanov Sergey V.**, Cand. of Agricultural Sciences, Research Fellow, Higher School of Economics, smitrofanov@hse.ru

Статья поступила в редакцию 27.07.2023; одобрена после рецензирования 02.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 27.07.2023; approved after reviewing 02.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 633.494:631.17  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.47.22.013

**ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ТОПИНАМБУРА, ВЛИЯЮЩЕЙ НА СТЕПЕНЬ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ОЛИСАХАРИДОВ В КЛУБНЯХ**

**Василий Аркадьевич Бызов**<sup>1</sup> ✉, **Валерий Викентьевич Шилов**<sup>2</sup>, **Виктор Иванович Старовойтов**<sup>3</sup>, **Владимир Владимирович Литвяк**<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup> ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», г.п. Красково, Российская Федерация

<sup>2</sup> «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup> ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», г.п. Красково, Российская Федерация

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Разрабатываются технологии возделывания и переработки топинамбура, влияющие на степень полимеризации. Необходимо проанализировать важность фруктозы при поиске вариантов замены глюкозы в продуктах и напитках. Ценность инулинсодержащих культур во многом определяется степенью полимеризации олигосахаридов. Инулин из цикория содержит полифруктаны, состоящие из 2-60 структурных единиц фруктозы, а у инулина из топинамбура 3-5 % фракции имеют степень полимеризации до 85 единиц. Цель – оценить влияние фруктозы на биохимические и медико-диетологические особенности человека.

**Материалы и методы.** Поиск литературы по проблеме за последние годы (с 1999 до 2023 г.) осуществляли по базам данных РИНЦ, Google Scholar, ResearchGate, PubMed по ключевым словам и словосочетаниям: «фруктоза», «глюкоза», «метаболизм фруктозы», «влияние фруктозы на здоровье человека», «химические свойства фруктозы», «влияние фруктозы на ожирение», «влияние фруктозы на липидный обмен», «влияние фруктозы на инсулин», «влияние фруктозы на обмен мочевой кислоты», «влияние фруктозы на печень», «фруктоза во фруктах».

**Результаты.** Исследователи во всем мире изучают связь между пищевыми продуктами с высоким содержанием фруктозы и алиментарно-зависимыми заболеваниями: метаболическим синдромом, ожирением, сахарным диабетом, артериальной гипертензией и некоторыми видами рака. Полученные к настоящему времени результаты указывают на то, что фруктоза представляет опасность для здоровья, когда человек потребляет ее в избыточных количествах. С другой стороны, фруктоза, которая потребляется из натуральных продуктов, таких как мед или фрукты, может быть полезной для здоровья как часть сбалансированной диеты.

**Заключение.** Исследованы химические свойства и метаболизм фруктозы, влияние фруктозы на ожирение и липидный обмен, на метаболизм мочевой кислоты и инсулина, на неалкогольную жировую болезнь печени. Рассмотрены источники и виды фруктозы, а также основные аспекты пользы от употребления фруктов. Разрабатываемые технологии возделывания и переработки топинамбура должны учитывать степень полимеризации олигосахаридов и важность фруктозы.

**Ключевые слова:** фруктоза, глюкоза, метаболизм, химические свойства, ожирение, липидный обмен, инсулин, мочевая кислота, печень, фрукты

**Для цитирования:** Бызов В.А., Шилов В.В., Старовойтов В.И., Литвяк В.В. Предпосылки создания технологии выращивания и переработки топинамбура, влияющей на степень полимеризации олигосахаридов в клубнях // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т15, № 3 С. 92-103 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.47.22.013>

Original article

**PREREQUISITES FOR THE CREATION OF TECHNOLOGY FOR GROWING AND PROCESSING JERUSALEM, AFFECTING THE DEGREE OF POLYMERIZATION OF OLISACCHARIDES IN TUBERS**

**Vasily A. Byzov**<sup>1</sup> ✉, **Valery V. Shilov**<sup>2</sup>, **Victor I. Starovoitov**<sup>3</sup>, **Vladimir V. Litvyak**<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup> All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of



Russian Potato Research Centre, Nekrasov Str., 11, Kraskovo, Luberetskiy District, Moscow Region, 140051, Russian Federation

<sup>2</sup> International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, Dolgobrodskaya Str., 23/1, Minsk, 220070, Republic of Belarus

<sup>3</sup> Russian Potato Research Centre, Str., 23, Kraskovo, Luberetskiy District, Moscow Region, 140051, Russian Federation

## Annotation

**Problem and purpose.** Technologies for cultivating and processing Jerusalem artichoke are being developed that affect the degree of polymerization, and it is necessary to analyze the importance of fructose when searching for options for replacing glucose in foods and drinks. The value of inulin-containing crops is largely determined by the degree of polymerization of oligosaccharides. Inulin from chicory contains polyfructans, consisting of 2 - 60 structural units of fructose, and in inulin from Jerusalem artichoke, 3-5% of the fraction has a degree of polymerization of up to 85 units. The goal is to evaluate the effect of fructose on the biochemical and medical and nutritional characteristics of humans.

**Materials and methods.** The literature search on the problem in recent years (from 1999 to 2023) was carried out in the databases of the Russian Science Citation Index, Google Scholar, ResearchGate, PubMed using keywords and phrases: "fructose", "glucose", "fructose metabolism", "effect of fructose on human health", "chemical properties of fructose", "effect of fructose on obesity", "effect of fructose on lipid metabolism", "effect of fructose on insulin", "effect of fructose on uric acid metabolism", "effect of fructose on the liver", "fructose in fruits."

**Results.** Researchers around the world are studying the link between foods high in fructose and diet-related diseases: metabolic syndrome, obesity, diabetes, hypertension and some types of cancer. Findings to date indicate that fructose poses a health risk when a person consumes it in excess quantities. On the other hand, fructose, which is consumed from natural foods such as honey or fruit, may have health benefits as part of a balanced diet.

**Conclusion.** The chemical properties and metabolism of fructose, the effect of fructose on obesity and lipid metabolism, on the metabolism of uric acid and insulin, and on non-alcoholic fatty liver disease were studied. The sources and types of fructose are considered, as well as the main aspects of the benefits of eating fruits. Developing technologies for the cultivation and processing of Jerusalem artichoke must take into account the degree of polymerization of oligosaccharides and the importance of fructose.

**Key words:** fructose, glucose, metabolism, chemical properties, obesity, lipid metabolism, insulin, uric acid, liver, fruit.

**For citation:** Byzov V.A., Shilov V.V., Starovoitov V.I., Litvyak V.V. Prerequisites for creating a technology for growing and processing Jerusalem artichoke, affecting the degree of polymerization of oligosaccharides in tubers // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva. 2023. Vol. 15, N. 3, P. 92-103 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.47.22.013>

## Введение

Разрабатываются технологии возделывания и переработки топинамбура, влияющие на степень полимеризации и необходимо проанализировать важность фруктозы при поиске вариантов замены глюкозы в продуктах и напитках. Ценность инулин-содержащих культур во многом определяется степенью полимеризации олигосахаридов. Инулин из цикория содержит полифруктаны, состоящие из 2-60 структурных единиц фруктозы, а у инулина из топинамбура 3-5 % фракции имеет степень полимеризации до 85 единиц.

Фруктоза, или «фруктовый сахар», является одним из трех наиболее распространенных природных моносахаридов. Двумя другими являются глюкоза и галактоза. Как следует из названия, фруктоза содержится почти во всех фруктах; но она также присутствует в коммерческих количествах в сахарном тростнике, сахарной свекле и кукурузе. Фруктоза и глюкоза объединяются, образуя дисахарид сахарозу, который мы знаем как обычный сахар.

Структура фруктозы, как и всех простых сахаров, может быть выражена как линейная цепь из шести атомов углерода с гидроксильными и карбонильными группами. Однако в кристалли-

ческой форме и в растворе большая ее часть существует в виде двух полукетальных колец:  $\beta$ -D-фруктопиранозы (вверху) и  $\beta$ -D-фруктофуранозы (внизу). В водном растворе фруктоза состоит из 70 % пиранозы, 22 % фуранозы и меньшего количества линейных и других циклических форм [1]. Это самый водорастворимый моносахарид. Фруктоза была открыта французским химиком Огюстеном-Пьером Дюбрунфо (1797–1881 гг.) в 1847 г. Она обычно содержится во многих продуктах, таких как вишня, манго, гуава, личи и овощах, таких как морковь, свекла, редис и сахарный тростник. Потребление чрезмерного количества продуктов, содержащих фруктозу и другие сахара, является хорошо известной причиной диабета 2 типа, повышенного уровня холестерина ЛПНП («плохого») и триглицеридов и, конечно же, ожирения. Гликация или случайное присоединение отдельных молекул сахара, в том числе фруктозы, к белкам является серьезной причиной повреждений у диабетиков [2]. Поэтому фруктоза для диабетиков, по-видимому, так же вредна, как глюкоза, и, следовательно, не является приемлемым решением для диабета. Фруктоза может играть также значительную роль в старении и многих возрастных хронических заболеваниях, но до сих пор остается



неясным, связано ли это с самой фруктозой или с сопутствующим увеличением потребления калорий.

Инулин – это термин, применяемый к гетерогенной смеси полимеров фруктозы, которая широко распространена в природе в качестве запасных углеводов растений, таких как топинамбур, цикорий, банан, чеснок, спаржа, лук, пшеница, ячмень и рожь. Олигофруктоза – подгруппа инулина, состоящая из полимеров со степенью полимеризации  $\leq 10$ . Инулин и олигофруктоза не перевариваются в верхних отделах желудочно-кишечного тракта; следовательно, они имеют пониженную калорийность. Они стимулируют рост кишечных бифидобактерий. Это не приводит к повышению уровня глюкозы в сыворотке крови и не стимулирует секрецию инсулина. Доступны несколько коммерческих сортов инулина, которые имеют нейтральный, чистый вкус и используются для улучшения вкусовых ощущений, стабильности и приемлемости пищевых продуктов с низким содержанием жира. Олигофруктоза имеет сладкий, приятный вкус и хорошо растворяется. Инулин можно использовать для обогащения пищевых продуктов клетчаткой без каких-либо вредных органолептических эффектов, для улучшения вкуса и сладости низкокалорийных продуктов и для улучшения текстуры продуктов с пониженным содержанием жира [3]. Инулин и олигофруктоза обладают несколькими функциональными и питательными свойствами, которые могут быть использованы для разработки инновационных продуктов здорового питания для современного потребителя.

Цель – оценить влияние фруктозы на биохимические и медико-диетологические особенности человека.

#### Материалы и методы

Базы данных. Поиск литературы по проблеме за последние годы (с 1999 до 2023 г.) осуществляли по базам данных РИНЦ, Google Scholar, ResearchGate, PubMed по ключевым словам и словосочетаниям: «фруктоза», «глюкоза», «метаболизм фруктозы», «влияние фруктозы на здоровье человека», «химические свойства фруктозы», «влияние фруктозы на ожирение», «влияние фруктозы на липидный обмен», «влияние фруктозы на инсулин», «влияние фруктозы на обмен мочевой кислоты», «влияние фруктозы на печень», «фруктоза в фруктах», «fructose», «glucose», «fructosemetabolism», «impactoffructoseonhumanhealth», «chemicalpropertiesoffructose», «impactoffructoseonobesity», «impactoffructoseonlipidmetabolism», «impactoffructoseoninsulin», «effectoffructoseonuricacidmetabolism», «effectoffructoseontheliver», «fructoseinfruits».

Источники. Критерии включения. Критериями включения литературных источников являлось следующее:

##### 1. Общие критерии включения:

1.1. Доступность литературных источников (возможность максимально полно ознакомиться с литературным источником).

1.2. Максимально возможная глубина проработки рассматриваемого вопроса и новизна ли-

тературных источников (год издания: с 1999 г. по настоящее время).

1.3. Особенности издания (достоверность издания, научный рейтинг издания).

1.4. Рассматривались издания на русском и английском языках.

##### 2. Специализированные критерии включения:

2.1. Рассматривались только научные публикации (статьи, монографии), а также патенты на изобретения.

2.2. Тематика литературного источника (биохимия питания, влияние питания на особенности биохимических процессов человека, метаболизм фруктозы, влияние фруктозы на здоровье человека, химические свойства фруктозы, влияние фруктозы на ожирение, влияние фруктозы на липидный обмен, влияние фруктозы на инсулин, влияние фруктозы на обмен мочевой кислоты, влияние фруктозы на печень, фруктоза в фруктах).

Критерии исключения. Критериями исключения литературных источников являлось следующее:

##### 1. Общие критерии исключения:

1.1. Недоступность литературных источников (невозможность максимально полно ознакомиться с литературным источником).

1.2. Устаревшие литературные источники до 1999 г.

1.3. Особенности издания (недостоверность и подозрительность издания, не научные издания, а также низкий научный рейтинг).

1.4. Литературные источники не на русском и не на английском языках не рассматривались.

##### 2. Специализированные критерии исключения:

2.1. Не рассматривались научно-популярные издания публикации.

2.2. Не рассматривались издания, тематика которых не соответствовала исследуемой проблеме.

Анализ и извлечение данных. Отобранные по ключевым словам источники сканировались вначале на основании названия, далее аннотации и уже попавшие в окончательный пул статьи анализировались полнотекстово.

#### Результаты

Чрезмерное потребление свободных сахаров, включая фруктозу, считается причиной избыточного веса и метаболического синдрома во всем западном мире. Распространенность избыточного веса и ожирения среди взрослых и детей возросла за последние несколько десятилетий и в настоящее время стабилизировалась на высоком уровне. Причинная роль фруктозы неясна. В прошлом особое внимание уделялось неблагоприятным метаболическим эффектам глюкозы, включая повышенный уровень сахара в крови и гиперинсулинизм. Однако в настоящее время необходимо уделить внимание особому метаболизму фруктозы и его связи с метаболическим синдромом и стеатозом печени, а также профилактическим мерам, которые можно предпринять.

Метаболизм фруктозы в печени не зависит от инсулина; из-за отсутствия механизма обратной связи это приводит к накоплению субстрата с липогенезом *de novo* и глюконеогенезом. Недавние



метаанализы с периодами наблюдения от одной до десяти недель показали, что потребление фруктозы в больших количествах (доза фруктозы +25-40 % от общей потребности в калориях) приводит к увеличению веса (+0,5 кг), повышению уровня триглицеридов (+0,3 ммоль/л) и стеатозу печени (содержание внутрипеченочного жира: +54 %), когда оно связано с положительной энергией.

Сердечно-сосудистые заболевания по-прежнему являются одной из основных причин смерти в западном мире, несмотря на недавнее снижение заболеваемости [4]. Обычно они обусловлены метаболическим синдромом, основными проявлениями которого являются преимущественно туловищное ожирение, дислипидемия, артериальная гипертензия и нарушение толерантности к глюкозе или сахарный диабет 2 типа [5-7,8].

Распространенность избыточного веса и ожирения в мире резко возросла [9, 10]. В 2022г. ожирение диагностировано у 20,6 % россиян. За два года этот показатель увеличился почти на 3 процентных пункта, согласно данным Росстата. Страдают ожирением чаще всего женщины – 23,3 % а у мужчин этот показатель составляет 17 %. Среди детей до 15 лет ожирение отмечено у 2 %. Положительный баланс калорий и потребление свободных сахаров являются важными сопутствующими причинами избыточного веса и метаболического синдрома. Грудное молоко, по сравнению со смесью, предлагает младенцу более широкий спектр вкусовых ощущений и, по-видимому, способствует принятию детьми более разнообразной пищи [11]. Вкусовые предпочтения и пищевые привычки формируются в основном в первые два года жизни и сохраняются на протяжении всего детства. Дети, которые регулярно пьют сладкие напитки в раннем возрасте, продолжают отдавать предпочтение им и в старшем возрасте. Из-за этого так называемого обучения вкусу дети в возрасте до 2 лет, на вкусовые предпочтения которых все еще можно повлиять, являются уязвимой группой для чрезмерного потребления сахара [12]. В связи с этим Европейское общество детской гастроэнтерологии, гепатологии и питания (ESPGHAN) рекомендует детям и подросткам в возрасте 2-18 лет потреблять не более 5 % рекомендуемой суточной нормы калорий в виде сахара, что соответствует 16 г сахара (4 чайные ложки) для 4-летнего мальчика. Дети в возрасте до 2 лет должны потреблять еще меньше сахара [11]. В настоящее время фактическое количество потребляемых свободных сахаров в процентах от общего потребления калорий составляет 13-14% у взрослых и 15-17,5 % у детей, что намного превышает рекомендуемый верхний предел [13-15]. Большая часть свободного сахара, потребляемого в детстве, приходится на сладости (34 %) и фруктовые соки (22 %), но сахаросодержащие напитки также играют определенную роль, т.к. они обладают небольшим эффектом насыщения, несмотря на их высокую энергетическую плотность [14, 16, 8]. Индивидуальное потребление сахара можно уменьшить, заменив сладкие продукты, та-

кие как фруктовые соки и коктейли, водой в качестве напитка и свежими фруктами.

*Химические свойства и метаболизм.* Фруктоза – это кетогексоза, естественным образом содержащаяся во фруктах и овощах. Она играет важную роль в промышленном производстве продуктов питания, например, в качестве компонента сахарозы или кукурузного сиропа с высоким содержанием фруктозы (HFCS). На подслащенные безалкогольные напитки приходится большая часть потребления фруктозы. В Европе такие напитки подслащивают сахаром (сахарозой), который состоит из равных долей фруктозы и глюкозы, соединенных гликозидной связью. В США в последние десятилетия сахароза во все большей степени заменяется на более дешевый HFCS. HFCS представляет собой смесь свободной фруктозы и свободной глюкозы с содержанием фруктозы от 42 % до 55 %. Сама по себе фруктоза является более сильным подсластителем, чем сахароза ( $\times 1,17$  по сравнению с сахарозой), или глюкоза сама по себе ( $\times 0,67$  по сравнению с сахарозой). Фруктоза также имеет более низкий гликемический индекс, чем глюкоза, то есть она повышает уровень сахара в крови в меньшей степени, чем глюкоза (фруктоза: 19 против глюкозы: 100) [17–19]. Последние несколько десятилетий и в настоящее время потребление фруктозы стабилизировалось на высоком уровне [6, 20].

Термин «свободные сахара» относится к моносахаридам (глюкозе, фруктозе) и дисахаридам (сахарозе, т.е. бытовому сахару; лактозе), которые либо естественным образом присутствуют в продуктах питания и напитках, либо добавляются к ним в процессе обработки. В отличие от олигосахаридов и полисахаридов, свободные сахара, по сути, представляют собой быстро мобилизуемый источник энергии, который практически не дает физиологической питательной пользы. В действующем руководстве ВОЗ рекомендуется, чтобы количество потребляемых свободных сахаров составляло менее 10 % рекомендуемой суточной калорийности (DCI) для взрослых и детей. При DCI 2000 ккал это соответствует 50 г сахара (17 кубиков сахара  $\approx$  12 чайных ложек сахара  $\approx$  500 мл апельсинового сока) в день. Эта рекомендация относится как к сахарам, добавляемым в продукты и напитки в процессе их производства, так и к свободным сахарам, естественным образом содержащимся в меде, сиропе, фруктовых соках и концентратах фруктовых соков [13, 21]. Потребление сахара детьми особенно важно, поскольку они имеют врожденное, эволюционно выгодное, предпочтение сладких продуктов и напитков, а их потребности в питании претерпевают серьезные изменения в младенчестве и в период полового созревания [12]. Дети более чувствительны к сахару и предпочитают более высокое содержание сахара в воде и безалкогольных напитках, чем взрослые [22-25].

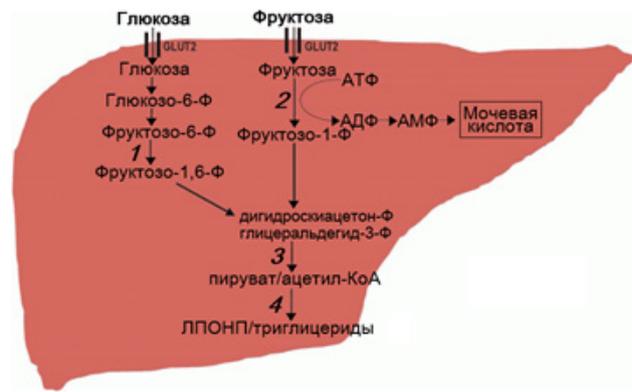
*Фруктоза, ожирение и липидный обмен.* Растущая распространенность ожирения в западном мире с 1980-х годов и параллельное увеличение потребления свободных сахаров позволяют



предположить, что сахар и, в частности, фруктоза могут играть вредную роль. Однако следует задаться вопросом, представляет ли фруктоза особую опасность из-за ее метаболизма, или наблюдаемые побочные эффекты обусловлены просто повышенным потреблением калорий за счет фруктозы. Нет никаких сомнений в том, что высокое потребление калорий, превышающее потребность человека в энергии, в течение длительного периода времени приведет к увеличению веса [26], и чрезмерное потребление калорий за счет фруктозы, безусловно, является основной причиной этого. В ретроспективном когортном исследовании с участием 628 детей Disse и др. обнаружили, что первичная мальабсорбция фруктозы, филогенетически нарушенная способность поглощать фруктозу отрицательно связана с ожирением [27]. Эксперименты на крысах показали увеличение массы тела при высоком потреблении фруктозы (20 % от общей потребности в калориях) в изокалорийных условиях, но проведенные на сегодняшний день метаанализы не выявили такого влияния на массу тела человека [28, 29]. В исследованиях на людях потребление больших количеств фруктозы (40 % от DCI) в дополнение к обычному рациону испытуемых в течение периодов от 1 до 10 недель приводило к значительному увеличению веса (+ 0,53 кг) [26, 30].

Помимо неблагоприятного влияния фруктозы на массу тела также считается, что она отрицательно влияет на метаболизм за счет накопления субстрата в печени, что приводит к липо- и глюконеогенезу за счет активации SREBP-1c (белок, связывающий элемент, регулирующий стерол 1c) и ChREBP (белок, связывающий элемент, реагирующий на углеводы) [31, 32]. Рандомизированные исследования показали, что прием фруктозы (20 % от DCI) приводит к умеренному повышению постпрандиального уровня триглицеридов (+0,09 ммоль/л), в то время как мета-анализ показал, что прием больших количеств фруктозы (средняя суточная доза, 175 г и 193 г) значительно повышает уровень триглицеридов (+0,26 ммоль/л) [31, 33-37]. Недавние мета-анализы не выявили какого-либо неблагоприятного воздействия на концентрацию триглицеридов или холестерина ЛПВП и ЛПНП после потребления фруктозы в течение семи или более дней в изокалорийных условиях [38]. Тем не менее, в ходе 10-недельного интервенционного исследования с участием 32 добровольцев Stanhope и др. обнаружили, что длительное потребление безалкогольных напитков, содержащих фруктозу (25 % DCI), по сравнению с безалкогольными напитками, содержащими глюкозу, приводило к увеличению отложений висцерального жира (+14,0 ± 5,5 % против 3,2 ± 4,4 %), что согласуется с данными для животных [37, 39, 40].

**Метаболизм фруктозы, мочевой кислоты и инсулина.** Аденозиндифосфат (АДФ) вырабатывается на первом этапе метаболизма фруктозы в печени, а затем расщепляется до мочевой кислоты (рисунки 1 и 2).



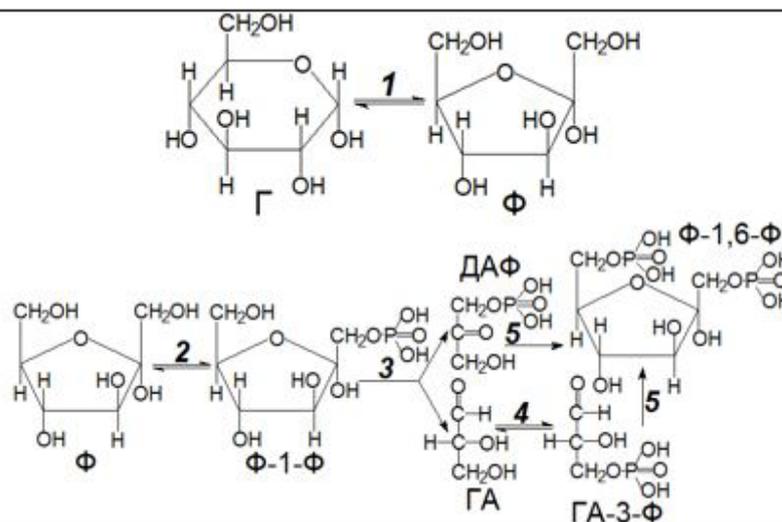
1 – фосфофруктокиназа-1, 2 – фруктокиназа, 3 – гликолиз, 4 – синтез жирных кислот, ЛПОНП – липопротеины очень низкой плотности  
1 – phosphofructokinase-1, 2 – fructokinase, 3 – glycolysis, 4 – synthesis of fatty acids, VLDL – very low density lipoproteins

Рис. 1 – Печеночный метаболизм фруктозы и глюкозы

Fig.1 – Hepatic metabolism of fructose and glucose

Поскольку мочевая кислота ингибирует эндотелиальную синтазу оксида азота, повышенный уровень мочевой кислоты может привести к уменьшению высвобождения сосудорасширяющего NO, что приводит к артериальной гипертензии [41]. Проспективные когортные исследования предполагают связь между повышенным уровнем мочевой кислоты и гипертонической болезнью, особенно у подростков [41, 42]. В рандомизированном исследовании ежедневное потребление 200 г фруктозы (32 % DCI) в дополнение к обычному рациону испытуемых повышало уровень мочевой кислоты на 65 ± 6 мкмоль/л, а также приводило к повышению значений артериального давления в 24-часовых измерениях (систолическое +6,9 ± 2,3 мм рт. ст., диастолическое +4,7 ± 1,6 мм рт. ст.).

Этим эффектам в экспериментальной группе значительно противодействовало введение аллопуринола в суточной дозе 300 мг (уровень мочевой кислоты – 113 ± 12 мкмоль/л). Систолическое артериальное давление в этой группе составило +2,1 ± 1,2 мм рт. ст., а диастолическое артериальное давление +1,0 ± 0,8 мм рт. ст. [43]. В обзорной статье повышение уровня мочевой кислоты (+31 мкмоль/л [15,4; 46,5]) было продемонстрировано только после употребления очень большого количества фруктозы (> 200 г в день) [44]. Мета-анализ трех проспективных когортных исследований с участием более 200000 человек не выявил корреляции между потреблением фруктозы и артериальной гипертензией.



Ф – фруктоза, Ф-1-Ф – фруктоза-1-фосфат, ГА – глицеральдегид, ДАФ – диоксиацетонфосфат, ГА-3-Ф – глицеральдегид-3-фосфат, Ф-1,6-Ф – фруктозо-1,6-фосфат  
 F – fructose, F-1-P – fructose-1-phosphate, GA – glyceraldehyde, DAP – dioxoacetone phosphate, GA-3-P – glyceraldehyde-3-phosphate, F-1,6-P – fructose-1,6- phosphate

Рис. 2 – Общая схема метаболизма фруктозы  
 Fig. 2 – General scheme of fructose metabolism

Напротив, Kelishadi и др. в другом метаанализе обнаружили связь между потреблением фруктозы и повышенным систолическим артериальным давлением, хотя они не оценивали среднюю дозу фруктозы [45, 46]. Наконец, исследование Кокрановской библиотеки не обнаружило достаточных доказательств эффективности снижения артериального давления препаратами, снижающими уровень мочевой кислоты [47].

Таким образом, нет четких доказательств того, что фруктоза неблагоприятно влияет на уровень мочевой кислоты и артериальное давление при изокалорийных условиях, но очень большие количества фруктозы действительно могут отрицательно влиять на оба этих параметра. Фруктоза имеет низкий гликемический индекс и, таким образом, не влияет на уровень глюкозы в крови или уровень инсулина в какой-либо существенной степени. По этой причине фруктоза долгое время считалась идеальным подсластителем, особенно для пациентов с нарушенной толерантностью к глюкозе [48, 49]. Эпидемиологические данные предполагают связь потребления фруктозы с диабетом 2 типа. Например, метаанализ проспективных когортных исследований показал, что у лиц, употребляющих сладкие напитки несколько раз в день, выше вероятность развития сахарного диабета 2 типа (относительный риск: 1,26) [50].

Romaiguera и др. обнаружили положительную связь между потреблением безалкогольных напитков и заболеваемостью сахарным диабетом 2 типа, даже после поправки на потребление калорий и ИМТ (коэффициент риска: 1,18) [51-53]. Тер Horst и др. в метаанализе исследований продолжительностью не менее шести дней обнаружили, что потребление фруктозы в изокалорийных условиях приводит к резистентности печени к инсули-

ну (стандартизированная разность средних [SMD]: 0,47), но и к умеренному повышению уровня инсулина натощак (+3,38 пмоль/л) [54]. До сих пор нет надежных клинических данных, показывающих четкую корреляцию между потреблением фруктозы и развитием сахарного диабета 2 типа, потому что потребление фруктозы в доступных исследованиях всегда сочеталось с потреблением глюкозы в виде либо сахарозы, либо кукурузного сиропа с высоким содержанием фруктозы.

**Фруктоза и неалкогольная жировая болезнь печени.** Считается, что фруктоза, которая метаболизируется в основном в печени, является фактором, способствующим развитию неалкогольной жировой болезни печени (НАЖБП). Общая категория НАЖБП может быть дополнительно разделена на потенциально обратимую неалкогольную жировую дистрофию печени, определяемую концентрацией жира более 5 % от массы печеночной паренхимы, и неалкогольный стеатогепатит, при котором дополнительно наблюдаются смешанные воспалительные инфильтраты и раздутые гепатоциты [55]. Распространенность НАЖБП в промышленно развитых странах мира оценивается в 20-30 %; он положительно коррелирует с метаболическим синдромом и переизбытком (обхват живота, индекс массы тела, уровень триглицеридов) и может прогрессировать до цирроза печени или гепатоцеллюлярной карциномы [56, 57]. Считается, что фруктоза является фактором, способствующим развитию стеатоза печени, который сам по себе может привести к энергетической перегрузке печени и, следовательно, к увеличению количества жира в гепатоцитах [58]. Ретроспективные данные, некоторые из которых противоречивы, показывают более высокое потребление фруктозы у пациентов с НАЖБП, а также влияние на



степень фиброза печени [59-62]. В исследовании случай-контроль Abid и др. показали, что 80 % пациентов с НАЖБП потребляли более 500 мл безалкогольных напитков в день по сравнению только с 17 % в контрольной группе. Было обнаружено, что потребление безалкогольных напитков является хорошим предиктором НАЖБП в их регрессионной модели (отношение шансов: 2,0) [63]. Два метаанализа касались связи между потреблением фруктозы и стеатозом печени. Чиу и др. и Chung и др., анализируя опубликованные исследования, в которых фруктозу давали в изокалорийном обмене с другими углеводами, не обнаружили влияния фруктозы на внутригепатоцеллюлярное содержание жира или на уровень аланинаминотрансферазы (АЛТ); но, напротив, гиперкалорийное потребление фруктозы (+25-35 % DCI) влияло на оба параметра неблагоприятно по сравнению с изокалорийной диетой (внутрипеченочное содержание жира: +54 %, АЛТ: +4,94 Ед/л) [64, 65]. Такие эффекты были обнаружены при гиперкалорийном введении либо фруктозы, либо глюкозы, это означает, что наблюдаемые эффекты объясняются чрезмерным потреблением калорий [64]. Однако информативность мета-анализов ограничена гетерогенностью составляющих исследований, спорным состоянием доказательств и часто короткими интервалами наблюдения. Невозможно с уверенностью сказать, влияет ли фруктоза сама по себе на метаболизм человека неблагоприятно, или такие эффекты обусловлены исключительно чрезмерным потреблением калорий при употреблении большого количества фруктозы. Последняя гипотеза подтверждается тем фактом, что метаанализы выявили неблагоприятные метаболические эффекты в основном в исследованиях с гиперкалорийным дизайном.

*Источники и виды фруктозы.* Существует два типа фруктозы: природная фруктоза и кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы. Организм усваивает и то, и другое одинаково. Примеры натуральных продуктов с естественным высоким содержанием фруктозы или фруктанов, которые представляют собой длинные цепи фруктозы, включают: сироп агавы, яблочный сок, яблоки, карамель, сушеный инжир, мед, патоку, груши, чернослив, сорго. Некоторые овощи содержат фруктозу, но обычно в меньших количествах, чем фрукты. К ним относятся: спаржа, корни цикория, топинамбур, лук-порей, репчатый лук.

Человек, желающий уменьшить потребление фруктозы и фруктанов, должен избегать продуктов со следующими подсластителями: кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы, карамель, мед, патока, пальмовый сахар. Человек должен ограничить потребление продуктов, которые обычно содержат кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы [66]. К ним относятся упакованная выпечка, конфеты и подслащенные напитки. Фруктоза естественным образом присутствует во многих фруктах и овощах, которые люди могут включать в свой питательный сбалансированный рацион. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов

США (FDA) заявляет, что фруктоза является безопасным ингредиентом для добавления в пищу. Однако, нет достаточных доказательств того, что фруктоза менее безопасна, чем другие подобные сахара, такие как сахароза и мед, поэтому рекомендуется ограничить все добавленные сахара. Когда люди едят или пьют много продуктов с высоким содержанием фруктозы, таких как подслащенные сахаром напитки, они также потребляют дополнительные калории, которые могут способствовать увеличению веса [67, 68]. Не существует рекомендуемого минимального или максимального ежедневного потребления фруктозы, потому что человеку не нужен этот сахар, чтобы выжить. Производители добавляют фруктозу в продукты в качестве подсластителя, но она имеет небольшую пищевую ценность. По возможности врачи рекомендуют людям есть свежие, цельные продукты и избегать частого употребления продуктов с добавлением сахара.

С таким количеством причудливых диет и источников рекомендаций по питанию может быть трудно отделить факты от вымысла, особенно, когда речь идет о сахаре. Однако стоит отметить, что организм усваивает фруктовый сахар иначе, чем обработанный или добавленный сахар. Все фрукты содержат некоторое количество натурального сахара. Очень сладкие фрукты, в том числе манго и арбузы, имеют относительно высокое содержание сахара. Однако, как правило, фрукты содержат меньше сахара, чем подслащенные продукты. Почти всем, включая людей с диабетом, полезно есть больше фруктов [69]. Это связано с сочетанием витаминов, минералов, клетчатки, фитохимических веществ и воды, которые они обеспечивают. Фрукты содержат два вида сахара: фруктозу и глюкозу. Пропорции каждого из них различаются, но большинство фруктов примерно наполовину состоят из глюкозы и наполовину из фруктозы. Глюкоза повышает уровень сахара в крови, поэтому организм должен использовать инсулин для его метаболизма. Фруктоза не повышает уровень сахара в крови. Вместо этого печень расщепляет его. В разделах ниже мы рассмотрим сравнение фруктовых сахаров с другими сахарами, риски, связанные с потреблением сахара, и преимущества употребления фруктов. Все фрукты содержат сахар, но, как правило, меньше, чем подслащенные продукты.

Сахара, которые производители чаще всего используют в пищевых продуктах, включают:

- кукурузный сироп, который обычно состоит из 100 % глюкозы;
- фруктозу, сахар из фруктов;
- галактозу, которая образует лактозу молочного сахара в сочетании с глюкозой;
- кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы, который сочетает в себе рафинированную фруктозу и глюкозу, но с более высоким процентным содержанием фруктозы;
- мальтозу, состоящую из двух молекул глюкозы;
- сахарозу или белый или столовый сахар, который состоит из равных частей фруктозы и



глюкозы.

Эти сахара отличаются от фруктовых сахаров тем, что они подвергаются переработке, и производители склонны чрезмерно использовать их в качестве добавок в пищевых продуктах и других продуктах. Наш организм также усваивает эти сахара быстрее. Например, сахароза может сделать кофе более сладким, а кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы является распространенной добавкой во многих продуктах переработки, таких как газированные напитки, фруктовые закуски и батончики и многое другое.

Исследования постоянно связывают рафинированную и добавленную фруктозу, которые присутствуют в сахаре и подслащенных продуктах, с более высоким риском заболеваний, таких как диабет и болезни сердца [66-68]. Однако стоит повторить, что эти исследования рассматривали исключительно фруктозу в ее переработанной форме в качестве добавки к подслащенным продуктам, а не фруктозу из цельных фруктов. Хотя некоторые причудливые и экстремальные диеты направлены на сокращение или исключение фруктов из рациона, для большинства людей нет никаких доказательств того, что фрукты вредны. В исследовании [70], сравнивающим фруктозу с глюкозой, было рассмотрено 20 испытаний с контролируемым питанием. Хотя объединенные анализы показали, что добавление фруктозы может повышать уровень холестерина, мочевой кислоты и триглицеридов, оно не оказывало более негативного влияния на профиль липидов, маркеры неалкогольной жировой болезни печени или инсулин. Люди с диабетом также могут безопасно употреблять фрукты. Во многих случаях сладкие фрукты могут удовлетворять тягу к чему-то другому. Во фруктах гораздо меньше сахара, чем в большинстве сладких закусок, а это может означать, что человек потребляет меньше калорий и меньше сахара, а также получает ценные питательные вещества.

Цельные фрукты всегда лучше, чем упакованные или переработанные фрукты. Например, производители, как правило, сильно подслащивают фруктовые соки и подвергают их глубокой переработке. Ароматизированные соки, которые они продают детям, часто содержат большое количество добавленного сахара. Эти соки не заменяют цельные фрукты и могут значительно увеличить потребление сахара человеком. Людям, употребляющим консервированные фрукты, следует проверять этикетку, так как некоторые консервированные фрукты содержат подсластители или другие ароматизаторы, которые могут значительно увеличить содержание сахара. Очень высокое потребление фруктов, как и любой другой пищи, может привести к тому, что человек будет потреблять слишком много калорий, что может увеличить риск ожирения [69]. Однако переедать фруктами трудно. Чтобы превысить диету в 2000 калорий в день, употребляя только фрукты, человек должен съесть примерно 18 бананов, 15 яблок или 44 киви каждый день. Однако, по данным Центров по контролю и профилактике заболеваний (CDC), большинство людей едят меньше пяти порций фрук-

тов в день [71]. Одни из немногих людей, которым следует избегать фруктов, – это люди с редкими заболеваниями, которые влияют на то, как их организм усваивает или не усваивает фруктозу. Людям с определенной аллергией на фрукты также следует избегать некоторых видов фруктов.

Состояние, называемое мальабсорбцией фруктозы, например, может вызвать ферментацию фруктозы в толстой кишке, вызывая боль в животе и диарею. Кроме того, редкое генетическое заболевание, называемое наследственной непереносимостью фруктозы, влияет на способность печени усваивать фрукты, что может потребовать от человека соблюдения диеты без фруктозы. Беременные женщины во втором триместре беременности должны стараться избегать употребления более четырех порций фруктов в день, особенно фруктов с высоким гликемическим индексом. Они также могут избегать тропических фруктов, т.к. они могут увеличить риск гестационного диабета.

*Польза от употребления фруктов.* Для большинства людей употребление фруктов может улучшить общее состояние здоровья. Польза от употребления фруктов намного перевешивает любые предполагаемые или гипотетические риски. Преимущества включают в себя:

1. Увеличение потребления клетчатки может помочь человеку дольше чувствовать себя сытым, уменьшить тягу к еде, питать здоровые кишечные бактерии и поддерживать здоровую потерю веса. Потребление клетчатки также может помочь человеку поддерживать постоянный уровень глюкозы в крови, что особенно важно для людей с диабетом [72].

2. Снижение потребления сахара: люди, которые заменяют сладкие закуски фруктами, могут потреблять меньше сахара и меньше калорий [73].

3. Улучшение общего состояния здоровья: потребление фруктов связано с целым рядом преимуществ для здоровья. Согласно одному анализу 2021 г., потребление фруктов и овощей снижает общий риск смерти. Потребление фруктов и овощей также снижает риск ряда заболеваний, включая болезни сердца и рак [74].

4. Низкий риск ожирения: люди, которые употребляют фрукты, менее склонны к ожирению и связанным с ним проблемам со здоровьем [75].

На сегодняшний день FDA заявляет, что в настоящее время ему не известны какие-либо доказательства того, что продукты, содержащие кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы, менее безопасны, чем другие продукты, содержащие аналогичные подсластители, такие как сахароза и мед [76]. FDA перечисляет кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы – наиболее спорный из продуктов, содержащих фруктозу, – как безопасный для употребления.

Тем не менее, люди должны ограничить потребление всех добавленных сахаров, включая кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы и сахарозы. Фруктоза – очень сладкий натуральный калорийный подсластитель. Он может поступать из фруктов, фруктовых соков, меда и даже не-



которых овощей. Чистая фруктоза также намного слаще, чем другие виды сахара. В результате люди могут использовать при приготовлении пищи меньше фруктозы, чем других сахаров, для достижения той же сладости. Наиболее важные источники фруктозы в рационе включают: столовый сахар, мед, нектар агавы, фруктовые соки, кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы, который присутствует в конфетах, выпечке, газированных напитках и других обработанных пищевых продуктах [66].

### Заключение

Текущие данные указывают на то, что очень высокое потребление фруктозы имеет неблагоприятные метаболические эффекты, но остается неясным, связано ли это с самой фруктозой или с сопутствующим увеличением потребления калорий. Анализ исследований, проведенных в изокалорийных условиях, не подтвердил каких-либо таких эффектов или какого-либо влияния фруктозы на стеатоз печени и гепатоцеллюлярное повреждение. Существует общая нехватка методологически обоснованных, проспективных, рандомизированных и контролируемых клинических испытаний с достаточным количеством пациентов и достаточной продолжительностью наблюдения, с помощью которых можно было бы изучить возможные побочные эффекты потребления фруктозы. Ценность инулинсодержащих культур во многом определяется степенью полимеризации олигосахаридов. Разрабатываемые технологии возделывания и переработки топинамбура должны учитывать степень полимеризации олигосахаридов и важность фруктозы.

### Список сокращений и обозначений:

(ESPGHAN) The European Society for Paediatric Gastroenterology Hepatology and Nutrition – Европейское общество детской гастроэнтерологии, гепатологии и питания;

(HFCS) High fructose corn syrup – кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы;

(DCI) Daily calorie intake – суточная норма калорий;

(CDC) Centers for Disease Control and Prevention – Центры по контролю и профилактике заболеваний США;

(FDA) Food and Drug Administration – Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов;

ЛПВП – холестерин липопротеинов высокой плотности;

ЛПНП – холестерин липопротеинов низкой плотности;

ЛПОНП – липопротеины очень низкой плотности;

ИМТ – индекс массы тела;

SMD – стандартизированная разность средних;

НАЖБП – неалкогольная жировая болезнь печени;

АЛТ – аланинаминотрансфераза.

### Список источников

1. Min Wang, Kit-Leong Cheong Preparation, Structural Characterisation, and Bioactivities of Fructans: A Review *Molecules* 2023, 28(4), 1613;

<https://doi.org/10.3390/molecules28041613>.

2. Xin Qi, Richard F. Tester Fructose, galactose and glucose – In health and disease *Clinical Nutrition ESPEN* Vol. 33, 2019, P. 18–28.

3. Kathy R. Niness Inulin and oligofructose: what are they? *The Journal of Nutrition* Vol. 129, No. 7, 1999, P. 1402S–1406S.

4. Jagannathan R, Patel SA, Ali MK, Narayan K MV: Global updates on cardiovascular disease mortality trends and attribution of traditional risk factors. *Curr Diab Rep* 2019; 19: 44 CrossRef MEDLINE.

5. Alberti G, Zimmet P, Shaw J, Grundy SM: The IDF consensus worldwide definition of the metabolic syndrome. 2016; [www.idf.org/e-library/consensus-statements/60-idf-consensus-worldwide-definition-of-the-metabolic-syndrome](http://www.idf.org/e-library/consensus-statements/60-idf-consensus-worldwide-definition-of-the-metabolic-syndrome) (last accessed on 22 July 2019).

6. Abarca-Gómez L, Abdeen ZA, Hamid ZA, et al.: Worldwide trends in body-mass index, underweight, overweight, and obesity from 1975 to 2016: a pooled analysis of 2416 population-based measurement studies in 128·9 million children, adolescents, and adults. *Lancet* 2017; 390: 2627–42 CrossRef.

7. Bentley RA, Ruck DJ, Fouts HN: U.S. obesity as delayed effect of excess sugar. *Econ Hum Biol* 2020; 36: 100818 CrossRef MEDLINE.

8. Richter A, Heidemann C, Schulze MB, Roosen J, Thiele S, Mensink GB: Dietary patterns of adolescents in Germany—associations with nutrient intake and other health related lifestyle characteristics. *BMC Pediatr* 2012; 12: 35 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

9. Mennella JA, Coren PJ, Jagnow MS, Beauchamp GK: Prenatal and postnatal flavor learning by human infants. *Pediatrics* 2012; 107: E88 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

10. Nehring I, Kostka T, Kries R von, Rehfues EA: Impacts of in utero and early infant taste experiences on later taste acceptance: a systematic review. *J Nutr* 2015; 145: 1271–9 CrossRef MEDLINE.

11. Fidler Mis N, Braegger C, Bronsky J, et al.: Sugar in infants, children and adolescents: a position paper of the European Society for Paediatric Gastroenterology, Hepatology and Nutrition Committee on Nutrition. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2017; 65: 681–96 CrossRef MEDLINE.

12. Birch LL: Development of food preferences. *Annu Rev Nutr* 1999; 19: 41–62 CrossRef MEDLINE.

13. Ernst J, Arens-Azevedo U, Bitzer B, et al.: Konsensuspapier: Quantitative Empfehlung zur Zuckeraufnahme in Deutschland. 2018; [www.dge.de/fileadmin/public/doc/ws/stellungnahme/Konsensuspapier\\_Zucker\\_DAG\\_DD\\_G\\_DGE\\_2018.pdf](http://www.dge.de/fileadmin/public/doc/ws/stellungnahme/Konsensuspapier_Zucker_DAG_DD_G_DGE_2018.pdf) (last accessed on 14 July 2019).

14. Perrar I, Schadow AM, Schmitting S, Buyken AE, Alexy U: Time and age trends in free sugar intake from food groups among children and adolescents between 1985 and 2016. *Nutrients* 2019; 12: 20 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

15. Bagus T, Roser S, Watzl B für Max Rubner-Institut, Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel: Reformulierung von verarbeiteten Lebensmitteln – Bewertungen und Empfehlungen zur Reduktion des Zuckergehalts 2016: [www.mri.de](http://www.mri.de).



- bund.de/fileadmin/MRI/Themen/Reformulierung/Reformulierung\_Thema-Zucker.pdf (last accessed on 22 July 2019).
16. Rabenberg M, Mensink GBM für Robert Koch-Institut Berlin: Limo, Saft& Co – Konsum zuckerhaltiger Getränke in Deutschland. GBE kompakt 2013; 4.
17. Hanover LM, White JS: Manufacturing, composition, and applications of fructose. *Am J Clin Nutr* 1993; 58 (Suppl): 724–32 CrossRef MEDLINE.
18. Bantle JP, Slama G: Is fructose the optimal low glycemic index sweetener? Nutritional management of diabetes mellitus and dysmetabolic syndrome. Nestlé Nutr Workshop Ser Clin Perform Program 2006; 11: 83–95 CrossRef MEDLINE.
19. Gaby AR: Adverse effects of dietary fructose. *Altern Med Rev* 2005; 10: 294–306.
20. Ng M, Fleming T, Robinson M, et al.: Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet* 2014; 384: 766–81 CrossRef.
21. World Health Organization: Guideline: sugars intake for adults and children 2015: www.gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=2033879 (last accessed on 21 July 2019).
22. Mennella JA, Finkbeiner S, Lipchock SV, Hwang L-D, Reed DR: Preferences for salty and sweet tastes are elevated and related to each other during childhood. *PLoS One* 2014; 9: e92201 CrossRef MEDLINE PubMed Central.
23. Segovia C, Hutchinson I, Laing DG, Jinks AL: A quantitative study of fungiform papillae and taste pore density in adults and children. *Dev Brain Res* 2002; 138: 135–46 CrossRef.
24. Stevens B, Yamada J, Ohlsson A, Haliburton S, Shorkey A: Sucrose for analgesia in newborn infants undergoing painful procedures. *Cochrane Database Syst Rev* 2016; 7: CD001069 CrossRef MEDLINE PubMed Central.
25. Gibbins S, Stevens B: Mechanisms of sucrose and non-nutritive sucking in procedural pain management in infants. *Pain Res Manag Spring* 2001; 6: 21–8 CrossRef MEDLINE.
26. Sievenpiper JL, de Souza RJ, Mirrahimi A, et al.: Effect of fructose on body weight in controlled feeding trials: a systematic review and meta-analysis. *Ann Intern Med* 2012; 156: 291–304 CrossRef MEDLINE.
27. Disse SC, Buelow A, Boedeker R-H, et al.: Reduced prevalence of obesity in children with primary fructose malabsorption: a multicentre, retrospective cohort study. *Pediatr Obes* 2013; 8: 255–8 CrossRef MEDLINE.
28. Jürgens H, Haass W, Castaneda TR, et al.: Consuming fructose-sweetened beverages increases body adiposity in mice. *Obes Res* 2005; 13: 1146–56 CrossRef MEDLINE.
29. Bocarsly ME, Powell ES, Avena NM, Hoebel BG: High-fructose corn syrup causes characteristics of obesity in rats: increased body weight, body fat and triglyceride levels. *Pharmacol Biochem Behav* 2010; 97: 101–6 CrossRef MEDLINE PubMed Central.
30. TeMorenga L, Mallard S, Mann J: Dietary sugars and body weight: systematic review and meta-analyses of randomised controlled trials and cohort studies. *BMJ* 2012; 346: e7492 CrossRef MEDLINE.
31. Wang DD, Sievenpiper JL, Souza RJ de, et al.: Effect of fructose on postprandial triglycerides: a systematic review and meta-analysis of controlled feeding trials. *Atherosclerosis* 2014; 232: 125–33 CrossRef MEDLINE.
32. Nagai Y, Yonemitsu S, Erion DM, et al.: The role of peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator-1 beta in the pathogenesis of fructose-induced insulin resistance. *Cell Metab* 2009; 9: 252–64 CrossRef MEDLINE PubMed Central.
33. Chiavaroli L, Souza RJ de, Ha V, et al.: Effect of fructose on established lipid targets: a systematic review and meta-analysis of controlled feeding trials. *J Am Heart Assoc* 2015; 4: e001700 CrossRef MEDLINE PubMed Central.
34. Chong MF, Fielding BA, Frayn KN: Mechanisms for the acute effect of fructose on postprandial lipemia. *Am J Clin Nutr* 2007; 85: 1511–20 CrossRef MEDLINE.
35. Parks EJ, Skokan LE, Timlin MT, Dingfelder CS: Dietary sugars stimulate fatty acid synthesis in adults. *J Nutr* 2008; 138: 1039–46 CrossRef MEDLINE PubMed Central.
36. Parks EJ, Skokan LE, Timlin MT, Dingfelder CS: Dietary sugars stimulate fatty acid synthesis in adults. *J Nutr* 2008; 138: 1039–46 CrossRef MEDLINE PubMed Central.
37. Crescenzo R, Bianco F, Coppola P, et al.: Adipose tissue remodeling in rats exhibiting fructose-induced obesity. *Eur J Nutr* 2014; 53: 413–9 CrossRef MEDLINE.
38. Schwingshackl L, Neuenschwander M, Hoffmann G, Buyken AE, Schlesinger S: Dietary sugars and cardiometabolic risk factors: a network meta-analysis on isocaloric substitution interventions. *Am J Clin Nutr* 2020; 111: 187–96 CrossRef MEDLINE.
39. Maersk M, Belza A, Stødkilde-Jørgensen H, et al.: Sucrose-sweetened beverages increase fat storage in the liver, muscle, and visceral fat depot: a 6-mo randomized intervention study. *Am J Clin Nutr* 2012; 95: 283–9 CrossRef MEDLINE.
40. Stanhope KL, Schwarz JM, Keim NL, et al.: Consuming fructose-sweetened, not glucose-sweetened, beverages increases visceral adiposity and lipids and decreases insulin sensitivity in overweight/obese humans. *J Clin Invest* 2009; 119: 1322–34 CrossRef MEDLINE PubMed Central.
41. Becker B de, Borghi C, Burnier M, van de Borne P: Uric acid and hypertension: a focused review and practical recommendations. *J Hypertens* 2019; 37: 878–83 CrossRef MEDLINE.
42. Feig DI, Kang D-H, Johnson RJ: Uric acid and cardiovascular risk. *N Engl J Med* 2008; 359: 1811–21 CrossRef MEDLINE PubMed Central.
43. Nakagawa T, Hu H, Zharikov S, et al.: A causal role for uric acid in fructose-induced metabolic syndrome. *Am J Physiol Renal Physiol* 2006; 290: F625–31 CrossRef MEDLINE.
44. Wang DD, Sievenpiper JL, Souza RJ de, et



al.: The effects of fructose intake on serum uric acid vary among controlled dietary trials. *J Nutr* 2012; 142: 916–23 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

45. Jayalath VH, Sievenpiper JL, Souza RJ de, et al.: Total fructose intake and risk of hypertension: a systematic review and meta-analysis of prospective cohorts. *J Am Coll Nutr* 2014; 33: 328–39 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

46. Kelishadi R, Mansourian M, Heidari-Beni M: Association of fructose consumption and components of metabolic syndrome in human studies: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition* 2014; 30: 503–10 CrossRef MEDLINE.

47. Gois PHF, Souza ERdM: Pharmacotherapy for hyperuricemia in hypertensive patients. *Cochrane Database Syst Rev* 2017; 4: CD008652 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

48. Evans RA, Frese M, Romero J, Cunningham JH, Mills KE: Fructose replacement of glucose or sucrose in food or beverages lowers postprandial glucose and insulin without raising triglycerides: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 2017; 106: 506–18 CrossRef MEDLINE.

49. Teff KL, Elliott SS, Tschöp M, et al.: Dietary fructose reduces circulating insulin and leptin, attenuates postprandial suppression of ghrelin, and increases triglycerides in women. *J Clin Endocrinol Metab* 2004; 89: 2963–72 CrossRef MEDLINE.

50. Malik VS, Popkin BM, Bray GA, Després J-P, Willett WC, Hu FB: Sugar-sweetened beverages and risk of metabolic syndrome and type 2 diabetes: a meta-analysis. *Diabetes Care* 2010; 33: 2477–83 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

51. Romaguera D, Norat T, Wark PA, et al.: Consumption of sweet beverages and type 2 diabetes incidence in European adults: results from EPIC-InterAct. *Diabetologia* 2013; 56: 1520–30 CrossRef MEDLINE.

52. Ruyter JC de, Olthof MR, Seidell JC, Katan MB: A trial of sugar-free or sugar-sweetened beverages and body weight in children. *N Engl J Med* 2012; 367: 1397–406 CrossRef MEDLINE.

53. Ebbeling CB, Feldman HA, Chomitz VR, et al.: A randomized trial of sugar-sweetened beverages and adolescent body weight. *N Engl J Med* 2012; 367: 1407–16 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

54. Ter Horst KW, Schene MR, Holman R, Romijn JA, Serlie MJ: Effect of fructose consumption on insulin sensitivity in nondiabetic subjects: a systematic review and meta-analysis of diet-intervention trials. *Am J Clin Nutr* 2016; 104: 1562–76 CrossRef MEDLINE.

55. Weiß J, Rau M, Geier A: Non-alcoholic fatty liver disease—epidemiology, clinical course, investigation and treatment. *Dtsch Arztebl Int* 2014; 111: 447–52 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

56. Roeb E, Steffen HM, Bantel H, et al.: S2k Leitlinie Nicht-alkoholische Fettlebererkrankungen. AWMF Register Nr. 021–025. 2015; [www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/021-025l\\_S25\\_NASH\\_Nicht\\_alkoholische\\_Fettlebererkrankung\\_2015-01.pdf](http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/021-025l_S25_NASH_Nicht_alkoholische_Fettlebererkrankung_2015-01.pdf) (last accessed on 16 February 2020).

57. Loomba R, Sanyal AJ: The global NAFLD

epidemic. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 2013; 10: 686–90 CrossRef MEDLINE.

58. Ter Horst KW, Serlie MJ: Fructose consumption, lipogenesis, and non-alcoholic fatty liver disease. *Nutrients* 2017; 9: 981 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

59. Ouyang X, Cirillo P, Sautin Y, et al.: Fructose consumption as a risk factor for non-alcoholic fatty liver disease. *J Hepatol* 2008; 48: 993–9 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

60. Mosca A, Nobili V, De Vito R, et al.: Uric acid concentrations and fructose consumption are independently associated with NASH in children and adolescents. *J Hepatol* 2017; 66: 1031–6 CrossRef MEDLINE.

61. Abdelmalek MF, Suzuki A, Guy C, et al.: Increased fructose consumption is associated with fibrosis severity in patients with nonalcoholic fatty liver disease. *Hepatology* 2010; 51: 1961–71 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

62. Kanerva N, Sandboge S, Kaartinen NE, Männistö S, Eriksson JG: Higher fructose intake is inversely associated with risk of nonalcoholic fatty liver disease in older Finnish adults. *Am J Clin Nutr* 2014; 100: 1133–8 CrossRef MEDLINE.

63. Abid A, Taha O, Nseir W, Farah R, Grosovski M, Assy N: Soft drink consumption is associated with fatty liver disease independent of metabolic syndrome. *J Hepatol* 2009; 51: 918–24 CrossRef MEDLINE.

64. Chiu S, Sievenpiper JL, Souza RJ de, et al.: Effect of fructose on markers of non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD): a systematic review and meta-analysis of controlled feeding trials. *Eur J Clin Nutr* 2014; 68: 416–23 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

65. Chung M, Ma J, Patel K, Berger S, Lau J, Lichtenstein AH: Fructose, high-fructose corn syrup, sucrose, and nonalcoholic fatty liver disease or indexes of liver health: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 2014; 100: 833–49 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

66. Bray GA, Nielsen SJ, Popkin BM: Consumption of high-fructose corn syrup in beverages may play a role in the epidemic of obesity. *Am J Clin Nutr* 2004; 79: 537–43 CrossRef MEDLINE.

67. Johnson RJ, Segal MS, Sautin Y, et al.: Potential role of sugar (fructose) in the epidemic of hypertension, obesity and the metabolic syndrome, diabetes, kidney disease and cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr* 2007; 86: 899–906.

68. Perez-Pozo SE, Schold J, Nakagawa T, Sánchez-Lozada LG, Johnson RJ, Lillo JL: Excessive fructose intake induces the features of metabolic syndrome in healthy adult men: role of uric acid in the hypertensive response. *Int J Obes (Lond)* 2010; 34: 454–61 CrossRef MEDLINE.

69. Perrar I, Schadow AM, Schmitting S, Buyken AE, Alexy U: Time and age trends in free sugar intake from food groups among children and adolescents between 1985 and 2016. *Nutrients* 2019; 12: 20 CrossRef MEDLINE PubMed Central.

70. Vincent J, van Buul, Luc Tappy, Fred J. P. H. Brouns Misconceptions about fructose-containing



sugars and their role in the obesity epidemic *Nutr Res Rev.* 2014 Jun; 27(1): 119–130. doi: 10.1017/S0954422414000067.

71. Only 1 in 10 Adults Get Enough Fruits or Vegetables // <https://www.cdc.gov/nccdphp/dnpao/division-information/media-tools/adults-fruits-vegetables.html>

72. Andrew N. Reynolds, Ashley P. Akerman, Jim Mann, Dietary fibre and whole grains in diabetes management: Systematic review and meta-analyses *PLoS Med.* 2020 17(3): e1003053. doi: 10.1371/journal.pmed.1003053.

73. Hope Warshaw, Steven V. Edelman Practical strategies to help reduce added sugars consumption to support glycemic and weight management goals *Diabetes.* 2021 Jan; 39(1): 45–56. doi: 10.2337/cd20-0034.

74. Dong D. Wang, Yanping Li, Shilpa N. Bhupathiraju, Bernard A. Rosner, Qi Sun, Edward L. Giovannucci, Eric B. Rimm, JoAnn E. Manson, Walter C. Willett, Meir J. Stampfer, and Frank B. Hu, Fruit and Vegetable Intake and Mortality: Results from two prospective cohorts of US men and women and a meta-analysis of 26 cohort studies *Circulation.* 2021 Apr 27; 143(17): 1642–1654. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.120.048996.

75. Satya P. Sharma, Hea J. Chung, Hyeon J. Kim, Seong T. Hong Paradoxical Effects of Fruit on Obesity *Nutrients.* 2016 8(10): 633-640. doi: 10.3390/nu8100633.

76. FDA CFR – Code of Federal Regulations Title 21 ec. 184.1866. High fructose corn syrup. Jun 07, 2023. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcr/CFRSearch.cfm?fr=184.1866>.

*Вклад авторов:*

*Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

#### **Информация об авторах**

**Бызов Василий Аркадьевич**, канд. с.-х. наук, ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», г.п. Красково, Россия

**Шилов Валерий Викентьевич**, «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

**Старовойтов Виктор Иванович**, д-р техн. наук, профессор, ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», г.п. Красково, Россия

**Литвяк Владимир Владимирович**, д-р техн. наук, ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», г.п. Красково, Россия

#### **Author Information**

**Byzov Vasily A.**, Candidate of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Potato named after A.G. Lorkha, town of Kraskovo, Russia

**Shilov Valery V.**, "International State Ecological Institute. HELL. Sakharov" Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

**Starovoitov Viktor I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, "Federal Research Center for Potato named after A.G. Lorkha, town of Kraskovo, Russia

**Litvyak Vladimir V.**, Doctor of Technical Sciences, All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials - a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center for Potato named after A.G. Lorkha, town of Kraskovo, Russia

Статья поступила в редакцию 25.08.2023; одобрена после рецензирования 05.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 25.08.2023; approved after reviewing 05.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 631.17:631.333:631.87  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.63.13.014

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДАЛЕНИЯ БОТВЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОЖУРЫ КАРТОФЕЛЯ**

**Ирина Валентиновна Егорова <sup>1</sup>, Роман Владимирович Безносюк <sup>2</sup>✉, Михаил Юрьевич Костенко <sup>3</sup>, Георгий Константинович Рембалович <sup>4</sup>, Наталья Алексеевна Костенко <sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup> Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

<sup>1</sup> eiv.ira@mail.ru

<sup>2</sup> romario345830@yandex.ru

<sup>3</sup> kostenko.mihail2016@yandex.ru

<sup>4</sup> rgk.rgatu@yandex.ru

<sup>5</sup> kn340010@yandex.ru

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Картофель – культура, широко распространенная во всем мире. Физиологические процессы созревания картофеля сопровождаются формированием прочных покровных тканей клубней, что имеет большое значение в процессах механизированной уборки при современных тенденциях интенсификации производства. Климатические условия российских регионов производства культуры разнообразны и в большинстве случаев не позволяют убирать урожай по достижению полной физиологической спелости растений. Для решения этой проблемы хозяйства используют различные приемы удаления ботвы картофеля, что позволяет скорректировать сроки созревания и приступить к уборке, не дожидаясь естественного созревания. Цель исследования – определение влияния различных действующих веществ десикантов и скашивания ботвы на формирование прочностных свойств кожуры картофеля.

**Результаты.** При проверке прочности формирования кожуры использовали прибор для измерения величины усилия в условных единицах, направленного на механическое воздействие на поверхность кожуры пластинами с различными углами оказываемого давления на картофельный клубень. Исследование показало, что наибольшее усилие обдира кожуры клубня наблюдается при небольших углах наклона деформирующей плоскости, при малых углах заземления. Влияние размера клубня на усилие обдира кожуры проявляется незначительно, так как зрелость кожуры на больших и маленьких клубнях примерно одинакова. В ходе исследования определяли воздействие различных способов удаления ботвы на формирование прочностных свойств покровных тканей клубней картофеля. Предварительное скашивание ботвы и десикация способствуют упрочнению кожуры клубней.

**Заключение.** Наибольшее усилие обдира кожуры клубня наблюдается при небольших углах наклона деформирующей плоскости и при малых углах заземления. С увеличением размера клубня растет площадь обдира кожуры, так как площадь контакта кожуры с деформирующей плоскостью возрастает. Анализ различных способов удаления ботвы показал, что опрыскивание десикантом с действующим веществом дикват в большей степени упрочняет кожуру и снижает ее обдир.

**Ключевые слова:** картофель, удаление ботвы, десикация ботвы, повреждения клубней, обдир кожуры

**Для цитирования:** Егорова И. В., Безносюк Р.В., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К., Костенко Н.А. Исследование влияния удаления ботвы на формирование прочностных свойств кожуры картофеля // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 3. С.104-109 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.63.13.014>

Original article

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THE REMOVAL OF THE HOLMS ON THE FORMATION OF THE STRENGTH PROPERTIES OF THE POTATO PEEL**

**Irina V. Egorova <sup>1</sup>, Roman V. Beznosyuk <sup>2</sup>✉, Mikhail Yu. Kostenko <sup>3</sup>, Georgy K. Rembalovich <sup>4</sup>, Natalia A. Kostenko <sup>5</sup>**



<sup>1</sup> eiv.ira@mail.ru

<sup>2</sup> romario345830@yandex.ru

<sup>3</sup> kostenko.mihail2016@yandex.ru

<sup>4</sup> rgk.rgatu@yandex.ru

<sup>5</sup> kn340010@yandex.ru

## Annotation.

**Problem and purpose.** Potato is a crop widely distributed throughout the world. Physiological processes of potato maturation are accompanied by the formation of strong integumentary tissues of tubers, which is of great importance in the processes of mechanized harvesting with modern trends in the intensification of production. The climatic conditions of the Russian regions of crop production are diverse and in most cases do not allow harvesting when the plants reach full physiological ripeness. To solve this problem, farms use various methods of removing potato tops, which allows you to adjust the ripening time and start harvesting without waiting for natural ripening. The purpose of the study is to determine the effect of various active ingredients of desiccants and haulm mowing on the formation of strength properties of potato peel.

**Results.** When checking the strength of the formation of the peel, a device was used to measure the magnitude of the force in conventional units aimed at mechanical action on the surface of the peel by plates with different angles of pressure exerted on the potato tuber. The study showed that the greatest peeling force of the tuber peel is observed at small angles of inclination of the deforming plane, at small pinch angles. The effect of tuber size on the peeling force is negligible, since the maturity of the peel on large and small tubers is approximately the same. In the course of the study, the effect of various methods of removing tops on the formation of the strength properties of the integumentary tissues of potato tubers was determined. Preliminary mowing of the tops and desiccation contribute to the hardening of the skin of the tubers.

**Conclusion.** The greatest peeling force of the tuber peel is observed at small angles of inclination of the deforming plane and at small pinching angles. With an increase in the size of the tuber, the peeling area increases, since the area of contact between the peel and the deforming plane increases. An analysis of various haulm removal methods showed that spraying with a desiccant with the active ingredient diquat strengthens the peel to a greater extent and reduces skin peeling.

**Key words:** potatoes, haulm removal, haulm desiccation, tuber damage, peeling

**For citation:** Egorova, I. V., Beznosyuk R. V., Kostenko M. Yu., Rembalovich G. K., Kostenko N. A. Study of the effect of haulm removal on the formation of the strength properties of the potato peel. // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University. P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 3. P 104-109 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.63.13.014>

## Введение

Картофель – культура, широко распространенная во всем мире. Более чем 8 тысяч лет назад он выращивался в горных районах Южной Америки. В настоящее время производится в целях промышленного производства, в качестве корма животных, для потребления человеком в свежем или переработанном виде [1]. Физиологические процессы созревания картофеля сопровождаются формированием прочных покровных тканей клубней, что имеет большое значение в процессах механизированной уборки при современных тенденциях интенсификации производства. Климатические условия российских регионов производства культуры разнообразны и в большинстве случаев не позволяют убирать урожай по достижению полной физиологической спелости растений. Для решения этой проблемы хозяйства используют различные приемы удаления ботвы картофеля, что позволяет скорректировать сроки созревания и приступить к уборке, не дожидаясь естественного созревания [2]. Работы многих исследователей подтверждают, что предварительное удаление вегетативной массы способствует снижению повреждений клубней при механической уборке и позволяет избежать большинства проблем при хранении продукции [3,4]. В мировой практике наиболее распространенными способами уда-

ления ботвы являются: трехраздельная уборка (уборка незрелых клубней), ботвотеребление, способы механический, термический, химический, комбинированный [1]. Основываясь на вышесказанном, было проведено исследование качества формирования покровных тканей клубней.

Цель исследования – определение влияния различных действующих веществ десикантов и скашивания ботвы на формирование прочностных свойств кожуры картофеля.

## Материалы и методы исследования

При проверке прочности формирования кожуры использовали прибор для измерения величины усилия в условных единицах, направленного на механическое воздействие на поверхность кожуры пластинами с различными углами оказываемого давления на картофельный клубень (рис. 1).

Прибор имеет платформу, на которой крепятся основные элементы: винтовой домкрат, измерительная платформа, рычажный механизм с пружиной, шкала измерений, устройство для снятия круговых диаграмм. При надавливании наклонной плоскости на клубень он защемляется двумя наклонными плоскостями и при увеличении нагрузки происходит сдвиг, вызывающий обдир кожуры (рис. 2). Предварительно проведены исследования на клубнях картофеля с незрелой кожурой для определения наиболее опасных способов



деформации клубней, варьируемыми факторами были масса (размер) клубней и угол наклона плоскости (угол заземления), при этом определяли усилие деформации клубня и площадь содранной кожуры.

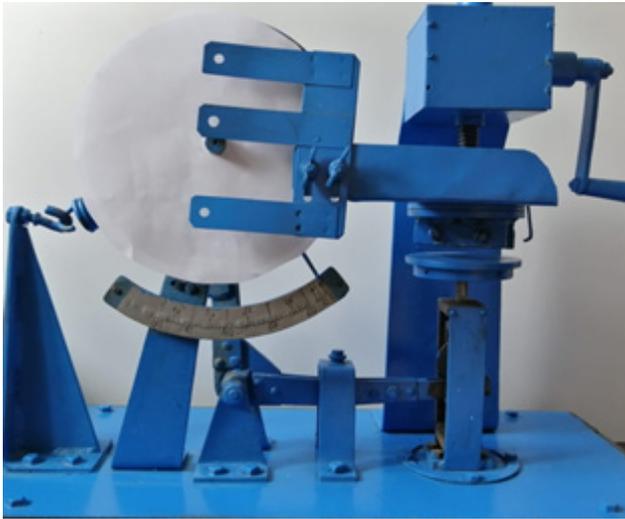


Рис. 1 – Прибор для проверки прочности кожуры

Fig. 1 – Device for checking the strength of the peel

Другой задачей было изучение влияния способов удаления ботвы на прочность кожуры клубня в период уборки. В качестве объекта исследования

был выбран сорт картофеля Лилли, выращиваемого на полях ООО «Авангард» Рязанской области, Рязанского района.

Десикация проводилась самоходным опрыскивателем Challenger RoGator RG-1100 препаратами, внесенными в «Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации 2022» (табл. 1), скашивание ботвы – ботвоудалителем Grimme KS 75-4.



Рис. 2 – Общий вид воздействия на клубень при проверке прочности кожуры

Fig. 2 - General view of the impact on the tuber when checking the strength of the peel

Таблица 1 – Краткое описание действующих веществ препаратов для десикации картофеля

Действующее вещество	Химический класс	Препараты	Механизм действия
Карфентразон-этил	Триазолиноны	Спотлайт Плюс, Буцефал	Разрушение мембран растительных клеток, нарушение синтеза хлорофилла
Дикват (дибромид)	Производные дипиридила	Реглон Форте, Голден Ринг, Молоток, Регулят Супер, Суховой, Полис, Тонгара, Готланд	Разрушение мембран растительных клеток, отклонение электрона в электрон-транспортной системе от своего обычного пути
Глюфосинат аммоний	Фосфинотрицины	Баста	Повышение в растительных клетках содержания аммиака. Остановка фотосинтеза

#### Результаты исследований и их обсуждение

Предварительные исследования влияния размеров клубня и угла заземления показали, что усилие обдира кожуры клубня в большей степени определяется углом заземления клубня. Полученное уравнение регрессии имеет следующий вид

$$F = 9,1667 + 2,1667 \cdot m + 3,6111 \cdot \alpha - 0,1667 \cdot m^2 - 0,5417 \cdot m \cdot \alpha + 1,001 \cdot \alpha^2 \quad (1)$$

где F – усилие обдира кожуры клубня, Н;

m – масса (размер) клубней;  
α – угол наклона плоскости (угол заземления).

На основании опытных данных построен график зависимости усилия обдира кожуры клубня от массы клубней и угла наклона плоскости (рис. 3).

Анализ рисунка 3 показал, что наибольшее усилие обдира кожуры клубня наблюдается при небольших углах наклона деформирующей плоскости, при малых углах заземления. Влияние размера клубня на усилие обдира кожуры проявляется незначительно, так как зрелость кожуры на больших и маленьких клубнях примерно одинакова.

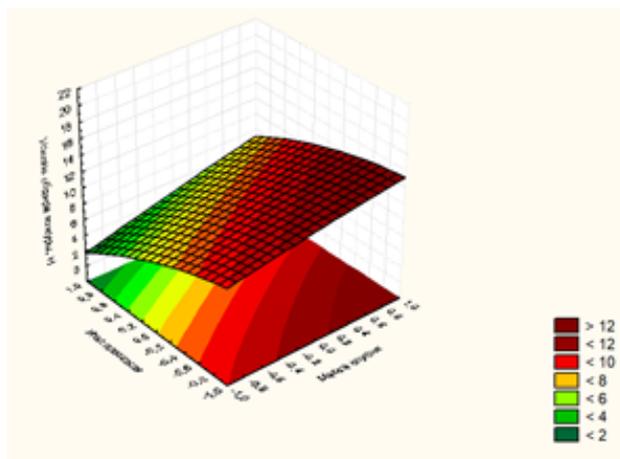


Рис. 3 – Зависимость усилия обдира кожуры клубня от массы (размера) клубней и угла наклона плоскости (угла защемления)

Fig. 3 - The dependence of the peeling force of the tuber on the mass (size) of tubers and the angle of inclination of the plane (pinching angle)

Также были проведены исследования зависимости площади обдира кожуры от размеров клубня и угла защемления. Исследования показали, что площадь обдира кожуры клубня в большей степени определяется углом защемления клубня. Полученное уравнение регрессии имеет следующий вид

$$S = 289,4074 + 52,6111 \cdot m + 10,4444 \cdot \alpha - 58,9444 \cdot m^2 - 23,5833 \cdot m \cdot \alpha + 42,7778 \cdot \alpha^2 \quad (2)$$

где S – площадь обдира кожуры клубня, мм<sup>2</sup>;  
m – масса (размер) клубней;  
α – угол наклона плоскости (угол защемления).

На основании опытных данных построен график зависимости площади содранной кожуры от массы клубней и угла наклона плоскости (рис. 4).

Анализ рисунка 4 показал, что наибольшее усилие обдира кожуры клубня наблюдается при небольших углах наклона деформирующей плоскости, при малых углах защемления. С увеличением размера клубня растет площадь обдира кожуры, так как возрастает площадь контакта кожуры с деформирующей плоскостью. Наибольшая площадь обдира кожуры наблюдалась при угле наклона плоскости около 15° и массе клубня

0,070-0,080 кг. С увеличением массы клубня более 0,08 кг площадь обдира кожуры незначительно растет, и существенно возрастает усилие обдира кожуры клубня. В ходе исследования определяли воздействие различных способов удаления ботвы на формирование прочностных свойств покровных тканей клубней картофеля.

В ходе эксперимента проводилось опрыскивание (десикация) по следующей схеме:

1. Контрольный вариант – скашивание ботвы;
2. Опытный вариант №1 – опрыскивание десикантом с действующим веществом дикват (содержание действующего вещества в препарате – 150 г/л) в норме 2 л/га;
3. Опытный вариант №2 – опрыскивание десикантом с действующим веществом карфентразон-этил (содержание действующего вещества в препарате – 60 г/л) в норме 1,5 л/га;
4. Опытный вариант №3 – опрыскивание десикантом с действующим веществом глифосинат аммоний (содержание действующего вещества в препарате – 150г/л) в норме 2,5 л/га.

Применяя перед уборкой контрольные копки (через 21 день после обработок), выкапывали по 5 кустов картофеля с контрольного и опытных вариантов. Подсчитывая количество клубней по фракциям, взвешивая их и занося данные в таблицы, получили урожайность и процентное соотношение клубней по размерности в рамках вариантов (таблицы 2, 3).

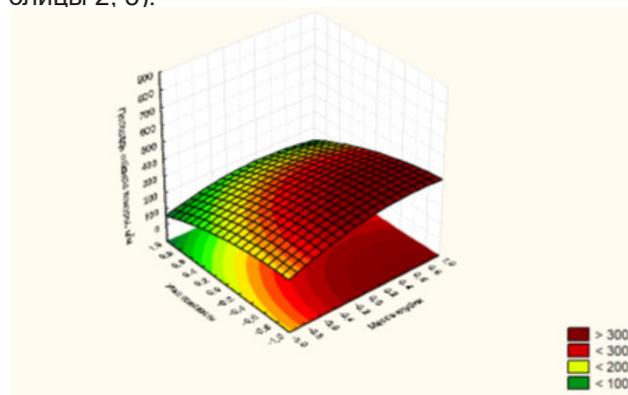


Рис. 4 – Зависимость площади содранной кожуры от массы (размера) клубней и угла наклона плоскости (угла защемления)

Fig. 4 - Dependence of the peeled peel area on the mass (size) of tubers and the angle of inclination of the plane (pinching angle)

Таблица 2 – Процентное содержание клубней различных фракций в контрольных копках

Вариант опыта	Урожайность, т/га	Количество клубней фракции 90 г. и более	Количество клубней фракции 60-89 г.	Количество клубней фракции 30-59 г	Количество клубней фракции 0-29 г.
Контрольный вариант	38,3	33,5%	28,5%	29,3%	8,7%
Опытный вариант №1	32,1	31,4%	40,6%	18,3%	9,7%
Опытный вариант №2	33,2	53,8%	20%	18%	8,2%
Опытный вариант №3	36	33,6%	34,3%	22,5%	9,6%



Проведя анализ таблицы 2, получаем следующие результаты:

- процент выхода товарной фракции (30 г. и более) выше на опытном варианте № 2 – 91,8 %;
- процент выхода крупной фракции (60 г. и

более) выше на опытном образце №2 – 73,8 %;

Таким образом, опытный вариант №2 показал себя более эффективным в отношении процента выхода картофеля товарной фракции.

Таблица 3 – Урожайность картофеля по процентному соотношению фракций

Вариант опыта	Полная урожайность, т/га	Урожайность с учетом фракции 60г. и более, т/га	Урожайность с учетом фракции 30 г. и более, т/га
Контрольный вариант	38,3	23,7	35
Опытный вариант №1	32,1	23,1	29
Опытный вариант №2	33,2	24,5	30,5
Опытный вариант №3	36	24,4	32,5

При анализе урожайности по данным таблицы 3 приходим к следующему:

- общая урожайность максимальна на контрольном варианте и составляет 38,3 т/га;
- урожайность с учетом фракции 60 г. и более максимальна на опытных вариантах №2, №3 и составляет 24,5 т/га, 24,4 т/га соответственно;
- урожайность с учетом фракции 30 г. и более максимальна на контрольном варианте, опытным варианте №3 и составляет 35 т/га, 32,5 т/га. соответственно.

Отсюда можно сделать вывод, что при учете урожайности товарных фракций картофеля в проведенных испытаниях более эффективным пока-

зал себя опытный вариант №3, при этом общая урожайность картофеля выше на контрольном варианте.

При движении картофеля по рабочим органам комбайнов и сети транспортеров клубни получают механические повреждения при взаимодействии с ними под различными углами. При помощи прибора, применяя разные по величине усилия при механическом воздействии на клубни с углами наклона плоскости 15°, 30°, 45° выявили, в каком из опытных вариантов будет меньшее количество повреждений. Чем больше величина прилагаемого усилия при воздействии на клубень, тем прочнее сформирована кожура.

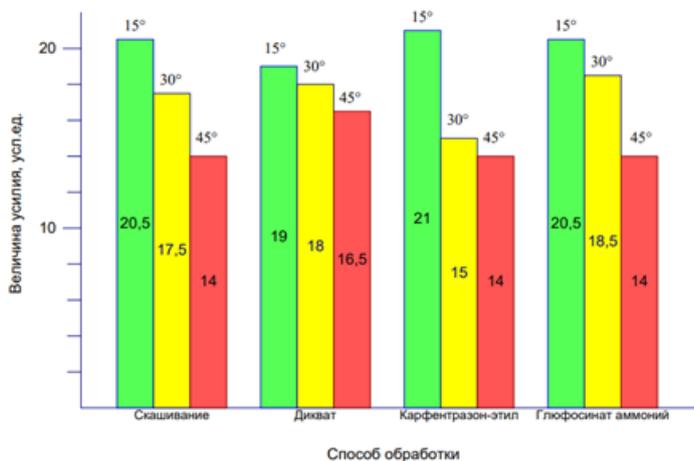


Рис. 5 – Зависимость усилия обдира кожуры клубня от способа удаления ботвы

Fig. 5 - The dependence of the peeling force of the tuber on the method of removing the tops

Анализ рисунка 5 показал, что предварительное скашивание ботвы и десикация способствуют упрочнению кожуры клубней. Усилие обдира кожуры клубня определяется углом наклона деформирующей плоскости. В то же время, чем меньше влияние угла наклона деформирующей плоскости, тем прочнее кожура клубней. Поэтому обработка ботвы опрыскиванием десикантом с действующим веществом дикват в большей степени упрочняет кожуру и снижает основной вид повреждений клубней – обдир кожуры.

#### Заключение

Наибольшее усилие обдира кожуры клубня наблюдается при небольших углах наклона деформирующей плоскости и при малых углах за-

щемления. С увеличением размера клубня растет площадь обдира кожуры, так как площадь контакта кожуры с деформирующей плоскостью возрастает. Наибольшая площадь обдира кожуры наблюдалась при угле наклона плоскости около 15° и массе клубня 0,070-0,080 кг. Предварительное скашивание ботвы и десикация способствуют упрочнению кожуры клубней. Анализ различных способов удаления ботвы показал, что опрыскивание десикантом с действующим веществом дикват в большей степени упрочняет кожуру и снижает основной вид повреждений клубней – обдир кожуры.

#### Список источников

1. Шпаар Д., Быкин А., Дрегер Д. И др.: Карто-



фель /под редакцией Д. Шпаара. – М.: ИД ООО «ДЛВ Агродело», 2007 г. – 458 с. (стр.47-48, 310-319)

2. Крючков М.М., Виноградов Д.Б., Бышов Н.В., Лукьянова О.В., Ступин А.С., Соколов А.А., Потапова Л.В., Троц Н.М. Инновационные элементы агротехнологий возделывания картофеля в Нечерноземной зоне России/ Монография. Рязань: изд-во Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева, 2018.-150с.

3. Анализ процесса выгрузки клубней из транспортного агрегата с усовершенствованным само-

*Вклад авторов:*

*Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

свальным кузовом / О. В. Филюшин, М. Ю. Костенко, И. А. Успенский [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2020. – № 1(45). – С. 107-114. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.019. – EDN DOFHHV.

4. Способ контроля скрытых повреждений клубней картофеля / М. Ю. Костенко, Н. В. Бышов, С. Н. Борычев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 120. – С. 1166-1187. – EDN WHGHOD.

### References

1. SHpaar D., Bykin A., Dreger D. I dr.: *Kartofel' /pod redakciej D. SHpaara*. – М.: ID ООО «DLV Agrodello», 2007 g. – 458 s. (str.47-48, 310-319)

2. Kryuchkov M.M., Vinogradov D.B., Byshov N.V., Luk'yanova O.V., Stupin A.S., Sokolov A.A., Potapova L.V., Troc N.M. *Innovacionnyye elementy agrotekhnologii vzdelyvaniya kartofelya v Nечernozemnoj zone Rossii/ Monografiya. Ryazan': izd-vo Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva, 2018.-150s.*

3. *Analiz processa vygruzki klubnej iz transportnogo agregata s usovershenstvovannym samosval'nym kuzovom / O. V. Filyushin, M. YU. Kostenko, I. A. Uspenskij [i dr.] // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2020. – № 1(45). – S. 107-114. – DOI 10.36508/RSATU.2020.45.1.019. – EDN DOFHHV.*

4. *Sposob kontrolya skrytyh povrezhdenij klubnej kartofelya / M. YU. Kostenko, N. V. Byshov, S. N. Borychev [i dr.] // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 120. – S. 1166-1187. – EDN WHGHOD.*

*Contribution of the authors:*

*All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

### Информация об авторах

**Егорова Ирина Валентиновна**, аспирант кафедры технологии металлов и ремонта машин eiv.ira@mail.ru

**Безносюк Роман Владимирович**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии металлов и ремонта машин romario345830@yandex.ru

**Костенко Михаил Юрьевич**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин, kostenko.mihail2016@yandex.ru

**Рембалович Георгий Константинович**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии металлов и ремонта машин, rgk.rgatu@yandex.ru

**Костенко Наталья Алексеевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры бизнес-информатики и прикладной математики, kn340010@yandex.ru

### Author information

**Egorova Irina V.**, post-graduate student of the Department of Metal Technology and Machine Repair, eiv.ira@mail.ru

**Beznosyuk Roman V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Metal Technology and Machine Repair, romario345830@yandex.ru

**Kostenko Mikhail Yu.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kostenko.mihail2016@yandex.ru

**Rembalovich Georgy K.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, rgk.rgatu@yandex.ru

**Kostenko Natalya A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Business Informatics and Applied Mathematics, kn340010@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 12.08.2023; одобрена после рецензирования 10.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 12.08.2023; approved after reviewing 10.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.



Вестник РГАТУ, 2023, т.15, № 3, с. 110-115  
Vestnik RGATU, 2023, Vol.15., № 3, pp 110-115

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 637.131 / 536.2  
DOI:10.36508/RSATU.2023.89.31.015

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВАКУУМНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ МОЛОКА**

**Игорь Алексеевич Короткий**<sup>1</sup> ✉, **Александр Николаевич Расщепкин**<sup>2</sup>, **Сергей Евгеньевич Шейн**<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия

<sup>1</sup> krot69@mail.ru

<sup>2</sup> technoholod@mail.ru

<sup>3</sup> Shein.98@ya.ru

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Целью данной работы является рассмотрение вопроса о применении воздействия вакуума для охлаждения молока при транспортировке. Транспортировка молока является сложной логистической задачей, так как фермы по сбору молока и молокоперерабатывающие предприятия зачастую находятся в десятках километров друг от друга, а иногда из-за недостаточных мощностей и вовсе приходится возить молоко в соседние регионы. Выходом из сложившейся ситуации может являться внедрение в герметичную автоцистерну вакуумного насоса для создания пониженного давления с целью снизить температуру кипения жидкого продукта, тем самым добиться снижения температуры молока и поддержания температурного режима на всём пути от фермы до молокоперерабатывающего предприятия. Данная технология может стать альтернативой или дополнением к полноценному парокомпрессионному охладителю молока для ферм с малым оборотом.

**Методология.** Расчёт ведётся по формулам определения теплоты парообразования жидкости и теплоты, необходимой для изменения температуры продукта, с использованием удельной теплоты парообразования и теплоёмкости. Целью расчёта является определение количества испарившегося молока в процессе вакуумного охлаждения и при его транспортировке.

**Результаты.** Использование вакуумного охлаждения автоцистерн может стать альтернативой использованию искусственного холода, или важным дополнением для интенсификации процесса, создания условий для мобильного и быстрого охлаждения молока для малых ферм, для которых важна автономность охлаждения, а совмещение процесса охлаждения и транспортировки поможет в логистических трудностях. В результате расчёта было определено, что потери водной фракции при охлаждении молока составят 5,45 %, а потери при транспортировке составляют менее 0,07 % в сутки. Важно отметить, что эти потери восстанавливаются при нормализации продукта при его переработке.

**Ключевые слова:** охлаждение молока, транспортировка молока, вакуумное охлаждение, вакуумирование

**Для цитирования:** Короткий И.А., Расщепкин А.Н., Шейн С.Е. Перспективы применения вакуумного охлаждения при первичной переработке и транспортировке молока //Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева.2023. Т.15, № 3., С. 110-115 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.89.31.015>



Original article

**PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF VACUUM COOLING IN PRIMARY MILK PROCESSING AND TRANSPORTATION**Igor A. Korotkiy<sup>1</sup>✉, Aleksandr N. Raschepkin<sup>2</sup>, Sergey E. Shein<sup>3</sup><sup>1,2,3</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, Russia<sup>1</sup> krot69@mail.ru<sup>2</sup> Technoholod@mail.ru<sup>3</sup> Shein.98@ya.ru**Annotation**

**Problem and purpose.** The purpose of this work is to consider the use of vacuum exposure to cool milk during transportation. Milk transportation is a difficult logistical task, since milk collection farms and milk processing enterprises are often located tens of kilometers from each other, and sometimes, due to insufficient capacity, it is necessary to transport milk to neighboring regions at all. The way out of this situation may be the introduction of a vacuum pump into a sealed tanker truck to create a reduced pressure in order to reduce the boiling point of the liquid product, thereby reducing the temperature of milk and maintaining the temperature regime all the way from the farm to the milk processing plant. This technology can become an alternative or supplement to a full-fledged steam compression milk cooler for farms with a small turnover.

**Methodology.** The calculation is carried out according to the formulas for determining the heat of vaporization of the liquid and the heat required to change the temperature of the product using the specific heat of vaporization and heat capacity. The purpose of the calculation is to determine the amount of evaporated milk during vacuum cooling and during its transportation.

**Results.** The use of vacuum cooling of tank trucks can become an alternative to the use of artificial cold, or an important addition to the intensification of the process, creating conditions for mobile and fast cooling of milk for small farms for which the autonomy of cooling is important, and combining the cooling process and transportation will help in logistical difficulties. As a result of the calculation, it was found that the loss of the water mixture during milk cooling is 5.45%, and the losses during transportation are less than 0.07% per day. It is important to note that these losses are recovered when the product is normalized during processing.

**Key words:** milk cooling, milk transportation, vacuum cooling, vacuumizing

**For citation:** Korotkiy I.A., Raschepkin A.N., Shein S.E. Prospects for the use of vacuum cooling in primary milk processing and transportation // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 3, P. 110-115 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.89.31.015>

**Введение**

Для получения качественного продукта питания необходимо в точности соблюдать все технологические предписания, в частности, контролировать температурные режимы продукта на каждом этапе, от сбора до непосредственного потребления. Это особенно важно для скоропортящихся, еще не подвергшихся обработке продуктов, которые при несоблюдении стандартов могут причинить существенный вред здоровью потребителя [1]. Именно поэтому для еще не обработанных продуктов, таких как парное молоко, разработаны строгие стандарты по контролю температурного режима и предусмотрены штрафы за его несоблюдение.

Поддержание температуры продуктов питания согласно нормам осуществляется с помощью холодильных машин. Авторефрижераторы снабжены парокompрессионными холодильными машинами с приводом от двигателя внутреннего сгорания, системой автоматики и контроля температуры для соблюдения рамок температурного режима при транспортировке грузов до перерабатывающих предприятий и точек сбыта [2,3].

Производство холода с помощью парокompрессионных холодильных машин требует значитель-

ных капиталовложений на покупку и сервисное обслуживание [4,5]. С внедрением Монреальского и Киотского протокола об обороте и использовании фторсодержащих хладагентов стоимость производства искусственного холода увеличилась [6]. При этом многие холодильные агенты попали под ограничения в применении или под полный запрет [7]. Данный факт поставил на повестку дня увеличение эффективности применения холодопроизводящих систем с целью снижения затрат, уменьшения воздействия на окружающую среду и повышения качества конечного продукта.

Транспортировка молока от сельскохозяйственных до молокоперерабатывающих предприятий осуществляется, как правило, автомобильным транспортом, в цистернах для пищевых жидкостей, изготавливаемых согласно ГОСТ 9218-2015, при температуре 2-8° С [8]. Молоко относят к несортному при несоблюдении данного температурного диапазона при транспортировке. Автоцистерна представляет собой цельнометаллический бак с теплоизоляцией из пенополиуретана толщиной 50 мм. Основные характеристики автоцистерн представлены в таблице 1 [9].



Таблица – Основные характеристики молоковозов

Показатель	Вместимость автоцистерны [м <sup>3</sup> ]			
	0,9	1,8	19,6	26
Число секций	1	2	3	4
Вместимость одной секции [м <sup>3</sup> ]	0,9	0,9	3,85	6,5
Габаритные размеры цистерны [мм]	1840x1150x1150	3680x2000x2000	4300x2400x2400	6300x2400x2400
Масса молока [кг] плотностью 1027 [кг/м <sup>3</sup> ]	924,3	1848,6	20129,2	26702

Молоко в автоцистерну подаётся по молокопроводам с помощью предварительного вакуумирования цистерны или с помощью насоса. Молоковоз снабжен люками для осмотра и санитарной обработки ёмкости, а также штуцерами для наполнения и опорожнения молоковоза. Молоко подаётся снизу автоцистерны для предотвращения вспенивания молока. Молоковозы большой вместимости делят на секции для уменьшения динамической нагрузки во время движения.

Транспортировка молока является сложной логистической задачей, так как фермы по сбору молока и молокоперерабатывающие предприятия зачастую находятся в десятках, в некоторых случаях сотнях, километров друг от друга [10]. Иногда, из-за недостаточных перерабатывающих мощностей и вовсе приходится возить молоко в соседние регионы. Сохранение качества молока при транспортировке в автоцистернах зависит от санитарного состояния цистерны и соблюдения температурного режима. В настоящий момент не распространены цистерны с использованием искусственного холода, а температура продукта поддерживается за счёт теплоизоляции цистерны и предварительного охлаждения продукта. Это требует наличия специализированного холодильного оборудования на молочных фермах. При транспортировке цистерны на значительные расстояния даже предварительно охлажденное молоко в теплое время года будет нагреваться и качество его будет снижаться. Соответственно, будет снижаться закупочная цена. Из-за таких жёстких условий сбыта многие фермеры вынуждены буквально выливать молоко и сокращать скот. Выходом из сложившейся ситуации может стать снабжение автомобильных молоковозов системой охлаждения молока. При этом установка традиционной системы охлаждения на молоковозы потребует существенного изменения их конструкции, так как автономные системы охлаждения могут быть достаточно громоздкими. Кроме того, потребуется изменение конструкции самой цистерны – внедрения теплообменника, обеспечивающего отвод теплоты от транспортируемого молока [11].

Решением задачи охлаждения молока в процессе транспортировки может являться установка в герметичную автоцистерну вакуумного насоса для создания разрежения с целью понижения температуры насыщения жидкого продукта, тем самым можно добиться снижения температуры

молока и поддержания температурного режима на всём пути, от фермы до молокоперерабатывающего предприятия за счет пониженного давления в цистерне. Подобное решение не потребует существенного изменения конструкции молоковоза [12].

#### Материалы и методы исследования

Расчет требуемой холодопроизводительности осуществляли для цистерны круглого сечения. При расчёте холодопроизводительности системы с применением вакуумного насоса и количества испарившегося молока использовали формулы для определения количества теплоты фазового перехода жидкость-газ (1) и количества теплоты, необходимой для изменения температуры продукта (2), а также теплопритока из внешней среды, рассчитанного по формуле (3) [3].

$$Q_{\text{кип}} = r_m \cdot \Delta m \text{ [Дж]}; \quad (1)$$

$$Q_{\Delta T} = C_m \cdot m \cdot \Delta T \text{ [Дж]}; \quad (2)$$

$$Q_{\text{тп}} = \frac{2\pi\lambda L(T_{\text{окр}} - T_{\text{мол}})}{\ln(d_2/d_1)} \text{ [Вт]}; \quad (3)$$

где  $r_m$  – удельная теплота парообразования молока, Дж/кг;  $\Delta m$  – количество испарившейся жидкости, кг;  $C$  – теплоёмкость молока, Дж/(кг·К);  $m$  – количество молока подвергаемого обработке, кг;  $T_0$  – начальная температура молока, °С;  $T_k$  – конечная температура молока, К;  $\Delta T$  – разность начальной и конечной температур молока, К;  $Q_{\text{тп}}$  – теплоприток от теплопередачи через стенку, Вт;  $T_{\text{окр}}$  – температура окружающей среды, °С;  $\lambda_c$  – коэффициент теплопроводности теплоизолированной стенки цистерны, Вт/(м·К);  $L$  – длина молоковоза, м;  $d_1$  – внутренний диаметр цистерны, м;  $d_2$  – внешний диаметр цистерны, м.

Начальную температуру молока примем  $T_0=37^\circ\text{C}$ , а конечную  $T_k=T_{\text{мол}}=4^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T=33$ , К. Так как молоко состоит на 87,5 % из воды, а при кипении испаряется именно вода, удельную теплоту парообразования молока принимаем, как у воды. Таким образом  $C_m = 3800$  Дж/(кг·°С);  $r_m=2,3 \cdot 10^6$  Дж/кг.

$$Q_{\Delta T} = Q_{\text{кип}} \Rightarrow C_m \cdot m \cdot \Delta T = r_m \cdot \Delta m \Rightarrow \quad (4)$$

$$\Delta m = \frac{C_m \cdot m \cdot \Delta T}{r_m}$$



Таким образом, из формул (1,2) следует:

Для расчёта количества испарившейся жидкости, необходимой для охлаждения молока на 33 градуса, воспользуемся формулой (4) и примем молоковоз вместимостью 26 м<sup>3</sup> (табл.). Так как вклад внешних теплопритоков относительно теплоты, необходимой для охлаждения, мал, в расчёт Q<sub>тп</sub> не включаем

$$\Delta m = \frac{3800 \cdot 26702 \cdot 33}{2,3 \cdot 10^6} = 1455,84 \text{ [кг]}$$

Таким образом, для охлаждения молока с 37° С до 4° С необходимо испарить 1455,84 кг из 26702 кг.

Для расчёта количества молока, испарившегося во время транспортировки с использованием вакуумного охлаждения, воспользуемся формулами (1 и 3).

$$Q_{тп} \cdot \tau = Q_{кип} \Rightarrow Q_{тп} \cdot \tau = r_M \cdot \Delta m \Rightarrow \Delta m = \frac{Q_{тп} \cdot \tau}{r_M}, \quad (5)$$

где  $\tau$  – время транспортировки, с.

Для применения граничных условий 1-го рода допустим, что теплота, поступившая из внешней среды за счёт теплопроводности, сразу же воспринимается молоком, а температуры внутренней и внешней стенок цистерны равны соответственно конечной температуре молока и температуре окружающей среды: T<sub>мол</sub> = 4° С, T<sub>окр</sub> = 25° С. В качестве теплоизоляции используется пенополиуретан толщиной δ=50 мм с коэффициентом теплопроводности λ<sub>ц</sub>=0,028 Вт/(м·К). Внутренний диаметр цистерны равен d<sub>1</sub>=d<sub>2</sub>-2δ. Для цистерны вместимостью 26 м<sup>3</sup>, d<sub>1</sub>=2,3 м.

В результате расчёта автоцистерны вместимостью 26 м<sup>3</sup>, (табл.) по формуле (3) получаем:

$$Q_{тп} = \frac{2\pi \cdot 0,028 \cdot 6,3(25 - 4)}{\ln(2,4/2,3)} = 546,89 \text{ [Вт]}$$

По формулам (5) определим количество отводимой влаги при транспортировке молока в цистерне объемом 26 м<sup>3</sup> за 1 час:

$$\Delta m_{тр} = \frac{546,89 \cdot 3600}{2,3 \cdot 10^6} = 0,856 \text{ [кг]}$$

### Результаты исследований и их обсуждение

Для оценки испарившейся жидкости из молока определим процентное отношение испарившейся влаги при охлаждении к общей массе молока по формуле (6), и ту же величину при транспортировке за 1 час по формуле (7):

$$\%m_{охл} = \frac{\Delta m_{охл}}{m} \cdot 100 \quad (6)$$

$$\%m_{тр} = \frac{\Delta m_{тр}}{m - \Delta m_{тр}} \cdot 100 \quad (7)$$

Подставляем значения в формулы (6) и (7):

$$\%m_{охл} = \frac{1455,84}{26702} \cdot 100\% = 5,45\%$$

$$\%m_{тр} = \frac{0,856}{26702 - 0,856} \cdot 100\% = 0,003\%$$

Таким образом, для охлаждения на 33° С за счет испарения влаги при вакуумировании молока потеря массы составит 5,45 %. Потери молока при транспортировке составляют менее 0,07 % в сутки.

Исходя из формулы (7), получим графическую зависимость потери массы молока в зависимости от времени транспортировки при различных условиях (рис. 1), где T<sub>окр</sub> – температура окружающей среды, ° С, T<sub>мол</sub> – начальная температура молока, ° С. Из графика мы видим, что чем больше разность температур между молоком и окружающей средой, тем больше потери при транспортировке. При разности в 12° С потери за 6 часов составляют не больше 0,015 %, а при разности 36° С потери составляют 0,035 % от начальной массы.

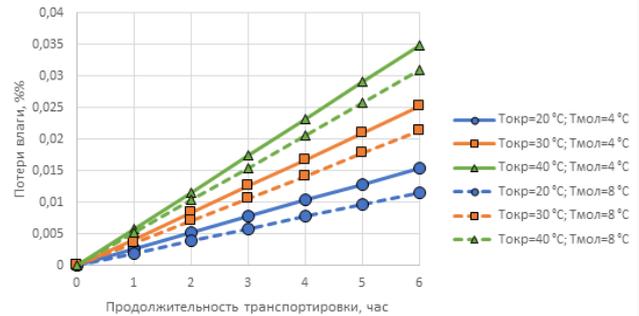


Рис.1 – Относительное изменение массы молока при транспортировке с использованием вакуумного охлаждения

Fig. 1 – Relative change in the mass of milk during transportation using vacuum cooling

Используя формулы (4) и (6), получим зависимость относительной потери массы молока от температурного перепада между начальной и конечной температурами сырья:

$$\Delta m = \frac{C_M \cdot m \cdot \Delta T}{r_M} = \%m_{охл} \cdot m \Rightarrow \%m_{охл} = \frac{C_M \cdot \Delta T}{r_M} \quad (8)$$

На рисунке 2 отображена графическая зависимость относительного уменьшения массы молока при вакуумном охлаждении от температурного перепада между начальной и конечной температурами молока согласно формуле (8). Таким образом, мы видим, что при охлаждении на каждые 6° С теряется 1 % от исходной массы сырья.

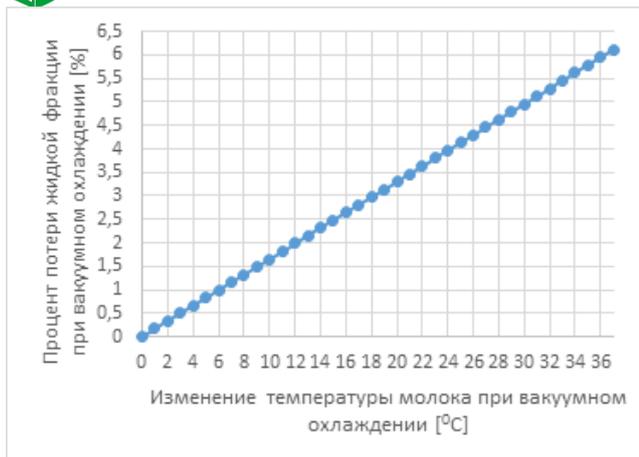


Рис.2 - Зависимость относительной потери жидкой фракции молока от температурного перепада между начальной и конечной температурами сырья

Fig.2 - The dependence of the relative loss of the liquid fraction of milk on the temperature difference between the initial and final temperatures of raw materials

#### Заключение

Использование вакуумных технологий для охлаждения молока при транспортировке его в автомобильных цистернах может стать альтернативой использованию традиционных систем охлаждения, основанных на использовании парокомпрессионных холодильных машин. Вакуумные системы охлаждения могут также стать важным дополнением для интенсификации процесса низкотемпературной обработки, создания условий для мобильного и быстрого охлаждения молока при первичной его переработке. Увеличение скорости охлаждения после термической обработки молока способствует улучшению его качественных характеристик и снижению потерь. Максимальные потери влаги при охлаждении только за счет вакуумирования составят не более 5,45 % и могут быть уменьшены за счет сочетания вакуумирования с традиционными способами охлаждения. При этом они легко компенсируются нормализацией молока при переработке его на молочных заводах. Потеря части влаги из молока не играет существенной роли, так как на молокоперерабатывающих заводах сырье подвергается нормализации. Использование искусственного холода в цистернах с жидким продуктом затруднено необходимостью санитарной обработки после каждого опорожнения автоцистерны, а теплообменная поверхность должна иметь большую разветвленную площадь теплообмена для эффективной работы. Именно поэтому системы с искусственным холодом имеют свои ограничения во внедрении в этап транспортировки в общей холодильной цепи. Использование же вакуумного охлаждения практически никак не затрагивает конструкцию цистерны, а требует только привода вакуумного насоса либо от индивидуального двигателя внутреннего сгорания,

либо от бортовой электрической сети молоковоза.

#### Список источников

1. Горбатова, К. К. Химия и физика молока и молочных продуктов / К. К. Горбатова, П. И. Гунькова. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2012. – 336 с.
2. Короткий, И. А. Энергетическая эффективность низкотемпературных систем / И. А. Короткий, А. Н. Расщепкин // Молочная промышленность. – 2023. – № 2. – С. 54-57.
3. Теория тепломассообмена (3-е издание) / С. Исаев, И. Кожин, В. Кофанов [и др.]. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2017. – 464 с.
4. Энергоснабжение, технологические машины и оборудование агропромышленного комплекса : Монография / Е. Н. Неверов, И. А. Короткий, И. А. Бакин [и др.]. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2022. – 168 с. – ISBN 978-5-8353-2919-9. – EDN AGVWZD.
5. Короткий, И.А. Холодильное производство - состояние и перспективы развития отрасли в России / И.А. Короткий, А.Н. Расщепкин // Молочная промышленность. – 2022. – № 8. – С. 6-8.
6. Шейн, С. Е. Обзор VI отчёта ООН о состоянии климата на 2021 год / С. Е. Шейн // Холодильная техника и биотехнологии: СБОРНИК ТЕЗИСОВ III НАЦИОНАЛЬНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ, Кемерово, 01–03 декабря 2021 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2021. – С. 46-47.
7. Шейн, С. Е. Вопросы экологической безопасности низкотемпературных систем / С. Е. Шейн, И. А. Короткий, А. Н. Расщепкин // Холодильная техника и биотехнологии: Сборник тезисов IV национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 01–03 декабря 2022 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2023. – С. 44-45.
8. Мазеева, И. А. Общие принципы переработки сырья животного происхождения / И. А. Мазеева ; Кемеровский государственный университет. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2021. – 186 с.
9. Самойлов В.А. Справочник технолога молочного производства. Т. 7. Оборудование молочных предприятий (справочник-каталог) / Под ред. А.Г. Храмова. - СПб.: ГИОРД, 2004. - 832 с.
10. Improving the performance parameters of vehicles for intrafarm transport in the agro-industrial complex / N. V. Byshov, S. N. Borychev, I. A. Uspensky [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 года. Vol. 341. – Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012145.
11. Environmental aspects of improving the quality of raw materials in the food industry / A. K. Gorelkina, I. V. Timoshchuk, E. N. Neverov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development, Tashkent, 12–15 октября 2022 года. – IOP Publishing



Ltd: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 012067. ринюк, К. С. Крысанов // Вестник Международной академии холода. – 2013. – № 1. – С. 34-38.  
12. Калнинь, И. М. Вакуумно-испарительные холодильные системы / И. М. Калнинь, Б. Т. Ма-

**Вклад авторов:**

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**References**

1. Gorbatova, K. K. Himiya i fizika moloka i molochnyh produktov / K. K. Gorbatova, P. I. Gun'kova. – Sankt-Peterburg : GIORД, 2012. – 336 s.
2. Korotkij, I. A. Energeticheskaya effektivnost' nizkotemperaturnyh sistem / I. A. Korotkij, A. N. Rasshchepkin // *Molochnaya promyshlennost'*. – 2023. – № 2. – S. 54-57.
3. Teoriya teplomassoobmena (3-e izdanie) / S. Isaev, I. Kozhinov, V. Kofanov [i dr.]. – Moskva : Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. N.E. Baumana, 2017. – 464 s.
4. Energosnabzhenie, tekhnologicheskie mashiny i oborudovanie agropromyshlennogo kompleksa : Monografiya / E. N. Neverov, I. A. Korotkij, I. A. Bakin [i dr.]. – Kemerovo : Kemerovskij gosudarstvennyj universitet, 2022. – 168 s. – ISBN 978-5-8353-2919-9. – EDN AGVWZD.
5. Korotkij, I.A. Holodil'noe proizvodstvo - sostoyanie i perspektivy razvitiya otrasli v Rossii / I.A. Korotkij, A.N. Rasshchepkin // *Molochnaya promyshlennost'*. – 2022. – № 8. – S. 6-8.
6. SHein, S. E. Obzor VI otchyota OON o sostoyanii klimata na 2021 god / S. E. SHein // *Holodil'naya tekhnika i biotekhnologii: SBORNIK TEZISOV III NACIONAL'NOJ KONFERENCII STUDENTOV, ASPIRANTOV I MOLODYH UCHENYH*, Kemerovo, 01–03 dekabrya 2021 goda. – Kemerovo: Kemerovskij gosudarstvennyj universitet, 2021. – S. 46-47.
7. SHein, S. E. Voprosy ekologicheskoy bezopasnosti nizkotemperaturnyh sistem / S. E. SHein, I. A. Korotkij, A. N. Rasshchepkin // *Holodil'naya tekhnika i biotekhnologii: Sbornik tezisov IV nacional'noj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh*, Kemerovo, 01–03 dekabrya 2022 goda. – Kemerovo: Kemerovskij gosudarstvennyj universitet, 2023. – S. 44-45.
8. Mazeeva, I. A. Obshchie principy pererabotki syr'ya zhivotnogo proiskhozhdeniya / I. A. Mazeeva ; Kemerovskij gosudarstvennyj universitet. – Kemerovo: Kemerovskij gosudarstvennyj universitet, 2021. – 186 s.
9. Samojlov V.A. Spravochnik tekhnologa molochnogo proizvodstva. T. 7. Oborudovanie molochnyh predpriyatij (spravochnik-katalog) / Pod red. A.G. Hramcova. - SPb.: GIORД, 2004. - 832 s.
10. Improving the performance parameters of vehicles for intrafarm transport in the agro-industrial complex / N. V. Byshov, S. N. Borychev, I. A. Uspensky [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 aprelya 2019 goda. Vol. 341.* – Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012145.
11. Environmental aspects of improving the quality of raw materials in the food industry / A. K. Gorelkina, I. V. Timoshchuk, E. N. Neverov [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International Conference on Environmental Technologies and Engineering for Sustainable Development, Tashkent, 12–15 oktyabrya 2022 goda.* – IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 012067.
12. Kalnin', I. M. Vakuumno-isparitel'nye holodil'nye sistemy / I. M. Kalnin', B. T. Marinyuk, K. S. Krysanov // *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda.* – 2013. – № 1. – S. 34-38.

**Contribution of the authors:**

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

**Информация об авторах**

**Короткий Игорь Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, Кемеровский государственный университет, krot69@mail.ru

**Расщепкин Александр Николаевич**, д-р техн. наук, профессор, Кемеровский государственный университет, technoholod@mail.ru

**Шейн Сергей Евгеньевич**, аспирант, Кемеровский государственный университет, Shein.98@ya.ru

**Author information**

**Korotkiy Igor A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kemerovo State University, krot69@mail.ru

**Raschepkin Alexander N.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kemerovo State University, technoholod@mail.ru

**Shein Sergey E.**, Postgraduate student, Kemerovo State University, Shein.98@ya.ru

Статья поступила в редакцию 29.08.2023; одобрена после рецензирования 06.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 29.08.2023; approved after reviewing 06.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 631.8  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.33.97.016

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА  
НА РАСХОД ТОПЛИВА И КОЭФФИЦИЕНТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ**

**Никита Михайлович Куминов**<sup>1</sup>✉, **Дмитрий Сергеевич Рябчиков**<sup>2</sup>, **Алина Александровна Тимакина**<sup>3</sup>, **Михаил Николаевич Чаткин**<sup>4</sup>, **Николай Владимирович Лимаренко**<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,5</sup> Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

<sup>4</sup> Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, г. Саранск, Россия

<sup>5</sup> ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, Россия

<sup>1</sup> nikitak311@gmail.com

<sup>2</sup> rds\_62@mail.ru

<sup>3</sup> timackinaa@yandex.ru

<sup>4</sup> chatkinm@yandex.ru

<sup>5</sup> limarenkodstu@yandex.ru

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Целью настоящего исследования было установление влияния технических неисправностей, таких как углы развала схождения, состояние фильтрующих элементов, давление в шинах, на расход топлива и коэффициент технической готовности.

**Методология.** Научно-хозяйственный опыт выполняли в условиях предприятия, занимающегося транспортными услугами. В качестве объектов исследования выступали грузовые автомобили с различным техническим состоянием: автомобиль с загрязнёнными фильтрами – МАЗ 5516; автомобиль с неотрегулированными углами установки колёс – КамАЗ 55102; автомобиль с пониженным давлением в шинах – КамАЗ 45143-6012-50; автомобиль – КамАЗ 65115 2008 г.в.; автомобиль – КамАЗ 65115 2018 г.в. Для изучения изменения расхода топлива на данных автомобилях проводили экспериментальные исследования на базе Общества с ограниченной ответственностью «Силумин», находящегося по адресу 390011, Рязанская область, г. Рязань, 197 километр (Окружная Дорога), д. 10, занимающегося транспортными перевозками.

**Результаты.** В результате исследования, направленного на изучение расхода топлива и коэффициента технической готовности и установление взаимосвязи их значений с техническими параметрами, такими как углы развала схождения, состояние фильтрующих элементов, давление в шинах, а также с возрастом подвижного состава, установлено значительное снижение расхода горючего материала после приведение транспортного средства в технически исправное состояние.

**Заключение.** Результаты исследования позволили установить влияние технического состояния на расход топлива путем анализа технически неисправных автомобилей, а также установки поправочного коэффициента в формулу вычисления расхода топлива.

**Ключевые слова:** расход топлива, коэффициент технической готовности, техническое состояние

**Для цитирования:** Куминов Н.М., Рябчиков Д.С., Тимакина А.А., Чаткин М.Н., Лимаренко Н.В. Оценка влияния технического состояния подвижного состава на расход топлива и коэффициент технической готовности // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т15, № 3. С.116-122 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.33.97.016>

Original article

**ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF TECHNICAL CONDITION OF ROLLING STOCK ON FUEL  
CONSUMPTION AND TECHNICAL READINESS RATIO**

**Nikita M. Kuminov**<sup>1</sup>✉, **Dmitry S. Ryabchikov**<sup>2</sup>, **Alina A. Timakina**<sup>3</sup>, **Mikhail N. Chatkin**<sup>4</sup>, **Nikolai V. Limarenko**<sup>5</sup>



<sup>1,2,3,5</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia

<sup>4</sup> Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russia

<sup>5</sup> FGBOU HE Don State Technical University, Russia

<sup>1</sup> nikitak311@gmail.com

<sup>2</sup> rds\_62@mail.ru

<sup>3</sup> timackinaa@yandex.ru

<sup>4</sup> chatkinm@yandex.ru

<sup>5</sup> limarenkodstu@yandex.ru

## Annotation.

**Problem and purpose.** The purpose of this study was to establish the impact of technical faults, such as camber angles, condition of filter elements, tire pressure, on fuel consumption and technical readiness ratio.

**Methodology.** The scientific and economic experiment was carried out in the conditions of an enterprise engaged in transport services. The objects of the study were trucks with different technical conditions. A car with dirty filters - MAZ 5516; A car with unadjusted wheel alignment angles - KamAZ 55102; A car with low tire pressure - KamAZ 45143-6012-50; Car - KamAZ 65115 2008; Car - KamAZ 65115 2018 To study changes in fuel consumption on these vehicles, experimental studies were carried out on the basis of the Limited Liability Company "Silumin" located at 390011, Ryazan region, Ryazan, 197 Kilometer (Ring Road) kilometer, no. 10, engaged in transport transportation.

**Results.** As a result of a study aimed at studying fuel consumption and establishing the relationship of their values with technical parameters such as camber angles, the condition of filter elements, tire pressure, as well as the age of the rolling stock, namely: a significant reduction in fuel consumption after bringing the vehicle the equipment is in technically sound condition.

**Conclusion.** The results of the study made it possible to establish the influence of technical condition on fuel consumption by analyzing technically faulty vehicles, as well as installing a correction factor in the formula for calculating fuel consumption.

**Key words:** fuel consumption, technical readiness factor, technical condition

**For citation:** Kuminov N.M., Ryabchikov D.S., Timakina A.A., Chatkin M. N., Limarenko N.V. Assessment of the influence of technical condition of rolling stock on fuel consumption and technical readiness ratio // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva. 2023. Vol.15, No.3, P 116-122 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.33.97.016>

## Введение

При работе разного рода транспортных средств в технологических процессах, всегда актуально рассчитать технико-эксплуатационные показатели, которые оказывают прямое влияние на экономическую составляющую данного процесса. Одним из таких основных показателей является расход топлива. Бесспорно, показатели топливной экономичности определяются уже при создании автомобиля и зависят от его конструкции и типа. При эксплуатации автотранспортных средств экономия расхода топлива зависит от того, насколько качественно поддерживается работоспособность автотранспортных средств, обслуживание и ремонтные работы. Немаловажную роль играет качество предоставляемых топливно-смазочных материалов для заправки автотранспортных средств. В целом, для экономии топливных расходов создана целая система условий, которые в той или иной степени оказывают непосредственное влияние на данный показатель, для того чтобы систематизировать все факторы, которые оказывают влияние на экономию расхода топлива.[1]

### Факторы, влияющие на эффективность использования топливно-смазочных материалов

Топливо-смазочные материалы играют ключевую роль в обеспечении надежной работы двигателей и механизмов. Эффективное использование этих материалов имеет решающее значение для снижения износа, увеличения срока службы

оборудования и повышения эффективности работы машин. Однако существует множество факторов, влияющих на эффективность использования топливно-смазочных материалов, и их понимание является ключом к оптимизации процессов смазки и сгорания топлива. Рассмотрим некоторые из наиболее существенных факторов.

#### 1. Вязкость смазочных материалов

Вязкость смазочных материалов является одним из основных параметров, влияющих на эффективность смазки. Высокая вязкость может улучшить смазывающие свойства, но при этом может привести к повышенным потерям энергии из-за внутреннего трения в двигателе. Низкая вязкость, с другой стороны, может снизить энергозатраты, но при этом уменьшить защиту поверхностей от износа.

#### 2. Добавки и ингибиторы

Современные топливно-смазочные материалы часто содержат добавки и ингибиторы, которые улучшают их свойства. Например, антиокислители могут предотвращать окисление масла, а диспергенты могут предотвращать образование отложений и нагара в двигателе. Правильный выбор и концентрация этих добавок критически важны для обеспечения долгой и надежной работы оборудования.

#### 3. Температурные условия

Температурные условия эксплуатации сильно влияют на эффективность топливно-смазочных материалов. Например, в холодных климатических



условиях масло должно оставаться достаточно текучим, чтобы обеспечивать смазку при низких температурах, в то время как в жарком климате необходимо обеспечить стабильную работу при высоких температурах. Выбор материалов, учитывающих эти факторы, играет важную роль.

#### 4. Состав топлива

Состав используемого топлива также оказывает влияние на работу двигателя и смазочных материалов. Например, содержание примесей, таких как сера или металлические частицы, может ускорить износ и повысить требования к смазочным материалам.

#### 5. Нагрузка и скорость

Нагрузка и скорость работы механизмов влияют на интенсивность смазки и требования к смазочным материалам. Высокие нагрузки или высокие скорости могут требовать специальных смазочных материалов с улучшенными антифрикционными свойствами.

#### 6. Чистота системы

Чистота системы, включая фильтрацию и регулярную замену масла, также имеет огромное значение для эффективности смазочных материалов. Засоренные или загрязненные системы могут привести к ухудшению смазывания и ускоренному износу [1].

Общей проблемой для всего перевозочного процесса сельскохозяйственной продукции является сильная изношенность парка транспортных средств. Свыше 30 % транспортных средств работают сверх нормы эксплуатации, что приводит к повышенному потреблению топлива, а чаще и полного отказа в работоспособности данной машины [4, 5].

В заключение: эффективное использование топливо-смазочных материалов – это сложный баланс между различными факторами, такими как вязкость, добавки, температурные условия, состав топлива, нагрузка и чистота системы. Понимание и учет этих факторов позволяют обеспечить оптимальную производительность и долгий срок службы оборудования, что является приоритетом в современной технической эксплуатации [3].

#### Материалы и методы исследования

Распространенные способы измерения топлива в баке автомобиля включают:

- установку измерительного бака на топливную систему;
- использование щупа с шкалой;
- замер количества ГСМ в специальных измерительных емкостях.

Контрольно-измерительное исследование расхода топлива на грузовом автомобиле проводится с целью определения точного объема и расхода топлива во время движения транспортного средства. В данном испытании будет использоваться третий метод из-за его простоты и точности.

Перед началом исследования необходимо взвесить пустую мерную тару и занести полученное значение в специальную таблицу. Затем заправить грузовой автомобиль полным баком топлива и проехать определенное расстояние, ко-

торое будет измерено с помощью телефона с навигатором.

По достижении конечной точки необходимо вновь заправить грузовой автомобиль и взвесить мерную тару с остатком топлива. Полученные значения заносятся в таблицу.

Далее путем вычитания веса пустой мерной тары и веса остатка топлива из веса полного бака определяется точный объем потраченного топлива. Расход топлива на 100 км рассчитывается путем деления объема потраченного топлива на пройденное расстояние и умножения на 100.

В процессе проведения исследования необходимо учитывать влияние таких факторов, как погодные условия, нагрузка на автомобиль и качество дороги, которые могут повлиять на расход топлива. Также следует учитывать возможные погрешности при измерениях и рассчитывать среднее значение из нескольких измерений.

Рассмотрим реальный пример организации доставки сельскохозяйственной продукции до места первичной переработки или хранения на примере сельскохозяйственного производителя ООО «Аграрий» Касимовского района Рязанской области.

От места уборки сельскохозяйственной продукции до места хранения груз доставляется по маршруту протяженностью 15 км и с асфальтовым покрытием (рис. 1).

В зависимости от технологий уборки и используемой сельскохозяйственной техники для вывоза продукции с поля используются различные транспортные средства, в основном универсальные самосвалы, но возможно использование и автомашин с прицепом, тракторных самосвальных прицепов [9].



Рис.1 – Схема маршрута перевозки.[8]

Fig. 1 – Transportation route diagram

#### Результаты исследования и их обсуждение

Для выявления поправочных коэффициентов был проведён ряд испытательных заездов. В них принимали участие транспортные средства с различными техническими неисправностями, такими как:



- 1) автомобиль с загрязнёнными фильтрами – МАЗ 5516;
- 2) автомобиль с неотрегулированными углами установки колёс – КамАЗ 55102;
- 3) автомобиль с пониженным давлением в шинах – КамАЗ 45143-6012-50;
- 4) автомобиль – КамАЗ 65115 2008 г. в.;
- 5) автомобиль – КамАЗ 65115 2018 г. в.

На каждом автомобиле были проведены замеры расхода топлива на контрольном участке дороги. Для получения более точных результатов было проведено 6 заездов на каждом транспортном средстве. В ходе проведения контрольно-измерительных испытаний были получены следующие данные, представленные в виде таблиц и графиков.

Таблица 1 – Расход топлива л/100км до устранения технических неисправностей.

Автомобиль \ № испытания	1	2	3	4	5	6
МАЗ 5516	60,9	60,7	61	61,4	61,8	58,9
КамАЗ 55102	46,9	46,4	47,4	46,6	45,1	47,1
КамАЗ 45143-6012-50	42,4	43,5	42	44,2	42,3	43,4

Таблица 2 – Расход топлива л/100км после устранения технических неисправностей.

Автомобиль \ № испытания	1	2	3	4	5	6
МАЗ 5516	52,4	51,9	52,3	50,5	52,2	51,7
КамАЗ 55102	40,2	41,3	39,5	39,1	39,3	39,7
КамАЗ 45143-6012-50	41,3	40,5	40,9	41,1	39,7	40,7

Таблица 3 – Расход топлива автомобиля старше 8 лет, л/100км.

Автомобиль \ № испытания	1	2	3	4	5	6
КамАЗ 65115	38,5	39,5	38,8	38,5	39,6	39,7

Таблица 4 – Расход топлива аналогичного автомобиля моложе 8 лет, л/100км.

Автомобиль \ № испытания	1	2	3	4	5	6
КамАЗ 65115	35,4	35,4	35,2	34,3	36,1	36,1

По результатам проведенных испытаний были выделены следующие поправочные коэффициенты, которые были внедрены в формулу расчета расхода топлива:

G – загрязнённые фильтрующие элементы;  
 H – пониженное давление в шинах;  
 L – неотрегулированные углы установки колёс.

Таблица 5 – Среднее значение расхода и разница в процентах.

Автомобиль	Средний расход до ТО л/100км	Средний расход после ТО л/100км	Разница в %
МАЗ 5516	60,8	51,8	15
КамАЗ 55102	46,6	39,8	15
КамАЗ 45143-6012-50	43	39,7	8
КамАЗ 65115	39,1	35,4	10

На основании таблицы 5 делаем выводы о значениях поправочных коэффициентов:

$$g = 15 \%, h = 8 \%, l = 15 \%, \beta = 10 \%$$

Данные значения требуется добавить в формулу расчёта расхода топлива.

Для расчета нормативного потребления топлива для автомобилей-самосвалов и самосвальных автопоездов следует применять следующую формулу:

$$Q_n = 0,01 \times H_{\text{санс}} \times S \times (1 + 0,01 \times D) + H_z \times Z, \text{ л} \quad (1)$$

где  $Q_n$  – нормативный расход топлива, л;  
 $S$  – расстояние, пройденное автомобилем-самосвалом/автопоездом, км;

$H_{\text{санс}}$  – норма расхода топлива автомобиля-самосвала/самосвального автопоезда, л/100 км;

$H_z$  – дополнительная норма расхода топлива на каждую езду с грузом автомобиля-самосвала/самосвального автопоезда, л;

$Z$  – число ездов с грузом;

$D$  – значение поправочного коэффициента



к норме, %.

Показатель нормы расхода топлива автомобиля-самосвала/самосвального автопоезда вычисляется по следующей формуле:

$$H_{\text{сanc}} = H_s + H_w \times (G_{\text{пр}} + 0,5 q), \text{ л} \quad (2)$$

где  $H_s$  – значение транспортной нормы с учетом транспортной работы при значении коэффициента загрузки, равным 0,5, л/100 км;

$H_w$  – значение транспортной нормы расхода топлива на выполнение транспортной работы для

автомобиля-самосвала и на значение дополнительной массы самосвального прицепа/полуприцепа (используется в расчетах в случае, если при расчете  $H_s$  не учитывался коэффициент загрузки, равный 0,5), л/100 ткм;

$G_{\text{пр}}$  – значение собственной массы самосвального прицепа/полуприцепа, т;

$q$  – значение грузоподъемности прицепа/полуприцепа, т [6-8].



Рис.2 – Топливная экономичность подвижного состава до и после проведения ТО.

Fig. 2 – Fuel efficiency of rolling stock before and after maintenance.

Поправочный коэффициент D состоит из следующих показателей.

1. Был ли произведен капитальный ремонт –  $\alpha$ ;
2. Возраст ТС больше или меньше 8 лет –  $\beta$ ;
3. Загрязнены ли фильтрующие элементы –  $g$ ;
4. Нормализовано ли давление в шинах –  $h$ ;
5. Произведена ли регулировка углов установки колёс –  $l$ ;
6. Дорожные условия, в которых передвигался автомобиль –  $\mu$ .

$$D = \mu + \beta + \alpha + g + h + l$$

Т.е. расчет расхода топлива для бортового автомобиля выполняется по следующей формуле.

$$Q_n = 0,01 * (H_{\text{сан}} * S + 1,3 * S_{\text{пр}} * V * \rho * k * 0,001) * (1 + 0,01 * (\mu + \beta + \alpha + g + h + l))$$

#### Заклучение

Своевременное обслуживание сельскохозяйственной и уборочной техники позволит держать расход топлива подвижного состава в эксплуатационной норме и существенно снизить последующие затраты на ремонт. Также немаловажным является коэффициент технической готовности; если поддерживать технику в отличном техническом состоянии, это поможет поднять значение коэффициента к единице, что в конечном итоге позволит провести уборочные работы быстрее и сократить потери продукции.

Техническое состояние автомобиля в значительной степени влияет на расход топлива смазочных материалов, в частности:

- 1) состояние фильтрующих элементов;
- 2) пробег;
- 3) состояние подвески и углов установки колес;
- 4) пониженное и неравномерное давление в шинах;

- 5) возраст подвижного состава;
- Также на потребление топлива влияют:

- 1) покрытие дорожного полотна;
- 2) грузоподъемность ТС или ТС с прицепом;
- 3) стиль управления транспортным средством;
- 4) погодные условия;
- 5) сезон выполнения работ;
- 6) ландшафт местности, где производятся работы.

#### Список источников

1. Основные направления экономии топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте // studfile.net: [сайт]. – URL: <https://studfile.net/preview/1763063/page:13/>
2. Учет и списание топлива и ГСМ в автопарках // Скаут разработчик систем: [сайт]. – URL: <https://scout-gps.ru/o-kompanii/stati/uchet-i-spisanie-topliva-i-gsm-v-avtoparkakh/>
3. Бышов, Н.В. Перспективы повышения эксплуатационных показателей транспортных средств при внутрихозяйственных перевозках плодово-овощной продукции [Электронный ресурс] / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, И.А. Юхин и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №04(078). С. 475 – 486. – IDA [article ID]: 0781204041. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/41.pdf>.
4. Измайлов, А. Ю. Повышение уровня использования транспорта в сельском хозяйстве / А. Ю. Измайлов // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – №2. С. 8-10.
5. Измайлов, А. Ю. Типаж и структура транс-



портных погрузочно-разгрузочных средств АПК / А. Ю. Измайлов // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. - №4. С. 20-23.

6. Краткий справочник нормативов трудовых и материальных затрат для ведения сельскохозяйственного производства / сост. Бречко Я.Н., Суманов М.Е. ¼ Мн.: БелНИИАЭ, 2000.

7. О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте»: Распоряжение от 14.03.08 N AM-23-р Министерство Транспорта Российской Федерации. //

URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_76009/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009/)

8. Степашкина А.С. Совершенствование внутрихозяйственных перевозок зерна: дис. ... канд. тех.наук : спец. 05.20.01 / А.С.Степашкина ; РГАУ-ТУ.- Рязань, 2022.

9. Юхин И.А. Снижение повреждений картофеля и яблок на внутрихозяйственных перевозках стабилизацией транспортных средств: дис. ... канд.тех.наук : спец. 05.20.01 /И.А.Юхин; РГАУ-Рязань, 2016 - 55 с.

*Вклад авторов:*

*Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

### References

1. *Osnovnye napravleniya ekonomii topliva i smazochnykh materialov na avtomobil'nom transporte* // studfile.net: [sait]. – URL: <https://studfile.net/preview/1763063/page:13/>

2. *Uchet i spisanie topliva i GSM v avtoparkah* // Skaut razrabotchik sistem: [sait]. – URL: <https://scout-gps.ru/o-kompanii/stati/uchet-i-spisanie-topлива-i-gsm-v-avtoparkakh/>

3. Byshov, N.V. *Perspektivy povysheniya ekspluatatsionnykh pokazatelej transportnykh sredstv pri vnutrihozyajstvennykh perevozkah plodoovoshchnoj produkcii* [Elektronnyj resurs] / N.V. Byshov, S.N. Borychev, I.A. Uspenskij, I.A. YUhin i dr. // *Politematicheskij setевой elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU)* [Elektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2012. – №04(078). S. 475 – 486. – IDA [article ID]: 0781204041. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/41.pdf>.

4. *Izmajlov, A. YU. Povyshenie urovnya ispol'zovaniya transporta v sel'skom hozyajstve* / A. YU. Izmajlov // *Tekhnika v sel'skom hozyajstve*. – 2006. - №2. S. 8-10.

5. *Izmajlov, A. YU. Tipazh i struktura transportnykh pogruzochno-razgruzochnykh sredstv APK* / A. YU. Izmajlov // *Tekhnika v sel'skom hozyajstve*. – 2006. - №4. S. 20-23.

6. *Kratkij spravochnik normativov trudovykh i material'nykh zatrat dlya vedeniya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva* / sost. Brechko YA.N., Sumanov M.E. ¼ Мн.: БелНИИАЭ, 2000.

7. О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте»: Распоряжение от 14.03.08 N AM-23-р Министерство Транспорта Российской Федерации. // URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_76009/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_76009/)

8. *Stepashkina A.S. Sovershenstvovanie vnutrihozyajstvennykh perevozkok zerna: dis. ... kand.tekh.nauk : spec. 05.20.01* / A.S.Stepashkina ; RGAU.- Ryazan', 2022.

9. *YUhin I.A. Snizhenie povrezhdenij kartofelya i yablok na vnutrihozyajstvennykh perevozkah stabilizaciej transportnykh sredstv: dis. ... kand.tekh.nauk : spec. 05.20.01* /I.A.YUhin; RGAU.-Ryazan', 2016 - 55 s.

*Authors' contributions:*

*All authors made equivalent contributions to the publication.*

*The authors declare no conflict of interest.*

### Информация об авторах

**Куминов Никита Михайлович**, аспирант, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, [nikitak311@gmail.com](mailto:nikitak311@gmail.com)

**Рябчиков Дмитрий Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры строительства инженерных сооружений и механики, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, [rds\\_62@mail.ru](mailto:rds_62@mail.ru)

**Тимакина Алина Александровна**, аспирант, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, [timackinaa@yandex.ru](mailto:timackinaa@yandex.ru)

**Чаткин Михаил Николаевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А.И. Лещанкина, Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, [chatkinm@yandex.ru](mailto:chatkinm@yandex.ru)

**Лимаренко Николай Владимирович**, д-р техн. наук, профессор кафедры технической эксплуатации транспорта ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», доцент кафедры Электротехники и электроники, ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, Россия, [limarenkodstu@yandex.ru](mailto:limarenkodstu@yandex.ru)



**Author information**

**Kuminov Nikita Mi.**, postgraduate student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, nikitak311@gmail.com

**Ryabchikov Dmitry S.**, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Structures and Mechanics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, rds\_62@mail.ru

**Timakina Alina A.**, post-graduate student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, timackinaa@yandex.ru

**Chatkin Mikhail N.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A.I. Leshchankin, N.P. Ogarev Mordovian State University, chatkinm@yandex.ru

**Limarenko Nikolai V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Operation of Transport, "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electronics, Don State Technical University, Russia, limarenkodstu@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20.08.2023; одобрена после рецензирования 12.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 20.08.2023; approved after reviewing 12.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.



Вестник РГАТУ, 2023, т.15, №3, с. 123-131  
Vestnik RGATU, 2023, Vol.15, №3, pp 123-131

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 621.77.04  
DOI:10.36508/RSATU.2023.39.12.017

**К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
3D-ПЕЧАТИ FDM: КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР**

**Татьяна Анатольевна Левина<sup>1</sup>✉, Иван Сергеевич Кушнир<sup>2</sup>, Яков Михайлович Глухих<sup>3</sup>, Анатолий Яковлевич Клочков<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup> ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия

<sup>4</sup> ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, Россия

<sup>1</sup> t.a.levina@mospolytech.ru

<sup>2</sup> kushn1r\_ivan@mail.ru

<sup>3</sup> Gluhihyak@gmail.com

<sup>4</sup> klochkov500@mail.ru

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Аддитивная технология 3D-печати становится все более популярной в сфере производства инженерных компонентов высокотехнологичных сельскохозяйственных комплексов. Несмотря на фундаментальность процесса 3D-печати, механическая прочность деталей, созданных на 3D-принтере, все еще требует дальнейшего изучения, в том числе импортозамещения деталей и узлов для обслуживания отечественной и зарубежной сельскохозяйственной техники. Целью настоящего исследования было выявление влияния параметров процесса на механические свойства 3D-печати деталей применительно к свойствам доступных материалов в технологии 3D-FDM.

**Методология.** Материалы исследования были получены методом научного картирования и картирования интеллектуальной структуры в области исследований развития технологий аддитивного производства, опубликованных в исследовательских статьях в рецензируемых научных журналах, включая анализ существующих исследований, которые подчеркивают параметры процесса, способные повысить прочность компонентов через различные разрушающие и неразрушающие испытания полимерных материалов.

**Результаты.** Результат исследования, направленный на обзор влияния параметров процесса на механические свойства напечатанных компонентов, сфокусированный на технологии 3D-FDM, предоставляет руководство по выбору оптимальных параметров процесса для различных приложений, которые существенно влияют на прочность 3D-напечатанных компонентов благодаря разработанной диаграмме причин и следствий различных параметров процесса для различных атрибутов.

**Заключение.** Поскольку качество продукции было нашим главным приоритетом, нами были определены области для расширения возможностей 3D-печати детали благодаря механизму построения изделий по принципу послойного добавления. Механические характеристики и качество изделия напрямую зависят от значений технологических параметров. При этом плотность заполнения компонентов является наиболее важным параметром для значения прочности на растяжение изделия. Этот параметр процесса больше всего влияет на время печати изделия и количество израсходованного на него материала. Для будущих исследований планируется более детальное изучение влияния плотности заполнения компонентов в интервале от 10 % до 100 % на прочностные характеристики изделия.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, FDM-метод, качество материалов 3D печати

**Для цитирования:** Левина Т.А., Кушнир И.С., Глухих Я.М., Клочков А.Я. К вопросу о влиянии па-



раметров процесса на механические свойства 3D-печати FDM: комплексный обзор //Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т15, №3. С 123-131 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.39.12.017>

Original article

## ON THE ISSUE OF THE INFLUENCE OF PROCESS PARAMETERS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF 3D PRINTING FDM: A COMPREHENSIVE REVIEW

Tatiana A. Levina <sup>1</sup>✉, Ivan S. Kushnir <sup>2</sup>, Yakov M. Glukhikh <sup>3</sup>, Anatoly Ya. Klochkov <sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

<sup>1</sup> t.a.levina@mospolytech.ru

<sup>2</sup> kushn1r\_ivan@mail.ru

<sup>3</sup> Gluhihyak@gmail.com

<sup>4</sup> klochkov500@mail.ru

### Annotation

**Problem and purpose.** Additive 3D printing technology is becoming increasingly popular in the production of engineering components of high-tech agricultural complexes. Despite the fundamental nature of the 3D printing process, the mechanical strength of parts created on a 3D printer still requires further study, including import substitution of parts and assemblies for servicing domestic and foreign agricultural machinery. The purpose of this study was to identify the influence of process parameters on the mechanical properties of 3D printing of parts in relation to the properties of available materials in 3D-FDM technology.

**Methodology.** The research materials were obtained by the method of scientific mapping and mapping of the intellectual structure in the field of research on the development of additive manufacturing technologies published in research articles in peer-reviewed scientific journals, including analysis of existing studies that emphasize process parameters that can increase the strength of components through various destructive and non-destructive testing of polymer materials.

**Results.** The result of the study aimed at reviewing the effect of process parameters on the mechanical properties of printed components, focused on 3D-FDM technology provides guidance on choosing optimal process parameters for various applications that significantly affect the strength of 3D-printed components due to the developed diagram of causes and effects of various process parameters for various attributes.

**Conclusion.** Since product quality was our top priority, we identified areas for expanding the 3D printing capabilities of the part thanks to the mechanism of building products on the principle of layer-by-layer addition. The mechanical characteristics and quality of the product directly depend on the values of the technological parameters. At the same time, the filling density of the components is the most important parameter for the value of the tensile strength of the product. Also, this process parameter most affects the printing time of the product and the amount of material consumed on it. For future research, a more detailed study of the effect of the filling density of components in the range from 10% to 100% on the strength characteristics of the product is planned.

**Key words:** additive technologies, FDM method, quality of 3D printing materials

**For citation:** Levina T.A., Kushnir I.S., Gluhikh Ya.M., Klochkov A.Ya. On the influence of Process parameters on the mechanical properties of 3D printing FDM: a Comprehensive review //Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol.15, No. 3. P. 123-131 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.39.12.017>

### Введение

Аддитивное производство (АП) является быстро развивающейся технологией, которая интегрирована в производство и повседневную жизнь, особенно в настоящее время актуально, в том числе и для изготовления деталей сельскохозяйственной техники как для импортных и отечественных машин, так и для автоматизированных комплексов [1-8]. Ранее эта технология была известна под разными названиями, такими как 3D-печать, быстрое прототипирование (RP), многослойное производство (LM) и изготовление твердой произвольной формы (SFF). Бизнес аддитивного производства стремительно растет и развивается. АП теперь готово к применению в промышленности,

и многие отрасли проявляют интерес к нему из-за преимуществ над традиционными методами производства. По прогнозам, к 2030 году мировой рынок аддитивного производства будет расти совокупным годовым темпом роста 20,8 % [9, 10]. В 2021 году было отгружено 2,2 миллиона 3D-принтеров, а ожидается, что к 2030 году объем продаж составит 21,5 миллионов единиц.

Материалы для 3D-печати пользуются растущим спросом в различных отраслях, таких как аэрокосмическая, медицинская, автомобильная и сельскохозяйственная промышленность. На рынке материалов для 3D-печати полимеры занимают ведущую позицию, включая полиамид, полиэтилентерефталат и другие. Металлы для 3D-печати



включают сталь, титан, никель, алюминий, медь и кобальт-хром. Технология FDM использует термопластичные нити для создания объектов, работая с инженерными пластиками, такими как полиамид, термопластичный полиуретан и полиэтилентерефталат, а также с высокоэффективными термопластами, например, PEEK и PEI.

В данной статье исследуется аддитивное производство в аспектах его коммерциализации, а также особое внимание уделяется механической прочности инженерных компонентов, созданных с помощью 3D-принтера, что является предметом постоянных исследований.

В настоящее время 3D-печать FDM (Fused Deposition Modeling) привлекает все больше внимания благодаря своей способности производить сложные объекты с высокой точностью и быстротой. Однако механическая прочность 3D-напечатанных компонентов по-прежнему является актуальным предметом исследования.

Влияние параметров процесса на механические свойства компонентов, созданных с использованием технологии FDM, становится все более актуальным. Это связано с тем, что правильная настройка параметров процесса может существенно повлиять на прочность, надежность и долговечность напечатанных деталей.

Различные параметры FDM-процесса, такие как температура печати, скорость движения головки печати, плотность наполнителя и ориентация слоев, могут оказывать влияние на механические свойства компонентов. Например, увеличение температуры печати может привести к лучшей адгезии между слоями и повышению прочности компонента. Однако слишком высокая температура может вызвать деформацию или плавление детали.

Кроме того, выбор материала для FDM-печати может сильно влиять на механические свойства компонентов, включая экологичность их применения в сельскохозяйственной индустрии и стабильность их свойств, а также характеристик в процессе эксплуатации инженерных компонентов в полевых условиях сельскохозяйственного оборудования [2, 5, 11]. Различные полимерные материалы, такие как полиамид (PA), поликарбонат (PC) и акрилонитрилбутадиенстирол (ABS), обладают разными механическими характеристиками и прочностями. Изменение типа материала может изменить механические свойства компонента и его способность справиться с определенными нагрузками или условиями эксплуатации.

В свете вышеизложенного, изучение и анализ влияния параметров процесса и выбора материала на механические свойства 3D-печати FDM является актуальным и важным для оптимизации и улучшения качества напечатанных компонентов. Это поможет определить оптимальные параметры процесса и выбор материала для конкретного применения, увеличивая надежность и функциональность 3D-напечатанных изделий.

Целью данной работы является обзор исследований, посвященных вопросам выбора параме-

тров процесса для печати деталей применительно к свойствам доступных материалов, поскольку эти атрибуты влияют на прочность и качество детали и, как следствие, разработка средств и методов планирования и управления качеством высокотехнологичных производств сельскохозяйственной техники [2-6, 12].

### **Материалы и методы исследования**

Важными ключевыми словами, использованными для анализа исследования на основе литературы, были: аддитивное производство, 3D-печать, Индустрия 4.0, Метод моделирования наплавленного осаждения, параметры процесса. Ключевые технические термины были объединены различными способами для получения соответствующих исследовательских материалов, чтобы сузить цель обзора литературы с применением методов совместной фильтрации, фильтрации на основе контента, а также метода коллаборативной фильтрации, который является наиболее зрелым и наиболее часто применяемым. Большая часть материалов исследования была получена методом научного картирования и картирования интеллектуальной структуры в области исследований развития технологий аддитивного производства, опубликованных в исследовательских статьях в рецензируемых научных журналах.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

#### **А. Технологии 3D-печати**

3D-печать – это технология аддитивного производства (Additive Manufacturing – AM) для изготовления широкого спектра структур сложной геометрии на основе данных трехмерной модели. Процесс состоит из печати последовательных слоев материалов, которые формируются друг на друге. Эта технология была разработана Чарльзом Халлом [13] в 1986 году в процессе, известном как стереолитография (SLA), за которым последовали разработки, такие как сплавление в порошковом слое, моделирование наплавленного осаждения (FDM), струйная печать и создание контуров (CC).

3D-печать, которая включает в себя различные методы, материалы и оборудование, развиваясь на протяжении многих лет, обрела способность трансформировать производственные и логистические процессы. Аддитивное производство широко применяется в различных отраслях промышленности, включая строительство, прототипирование и биомеханику и др.

Согласно стандарту ISO/ASTM 52900-15, аддитивное производство (AM), широко известное как 3D-печать, представляет собой «процесс соединения материалов для изготовления деталей из данных 3D-модели, обычно слой за слоем» [14]. Таким образом, при аддитивном производстве деталь печатается путем добавления слоев, а не удаления материалов, как при традиционной механической обработке. Термин «3D-печать» относится к относительно новой производственной технологии, основанной на послойном создании модели автоматизированного проектирования со сложной геометрией. Этот метод привлек внимание благодаря простоте процесса, разнообразию



материалов для печати подходящего качества и производительности, а также приемлемой стоимости. Одной из основных причин того, что эта технология стала более доступной, является истечение срока действия предыдущих патентов, что дало производителям возможность разрабатывать новые устройства для 3D-печати. Последние разработки позволили снизить стоимость 3D-принтеров, тем самым расширив их применение от прототипов до готовых продуктов. Настройка продукта была сложной задачей для производителей из-за высоких затрат на производство изделий, например, по индивидуальному заказу для конечных пользователей. Индивидуальные функциональные продукты в настоящее время становятся тенденцией в 3D-печати, как и предсказывали Wohlers Associates [15], которые предположили, что около 50 % 3D-печати будет связано с производством коммерческих продуктов в 2020 году [14].

Эта технология привлекла внимание специалистов в области медицины благодаря своей способности производить широкий спектр медицинских имплантатов из копий тканей, полученных с помощью компьютерной томографии [16]. В последнее время 3D-печать [17] эффективно используется в строительной отрасли. Группа относительно дешевых домов в Китае (4800 долларов США за единицу) были успешно напечатаны Win Sun менее чем за день [10]; очевидно, это особенно актуально для сельскохозяйственного и животноводческого производства [15, 17].

Растущие темпы адаптации системы 3D-производства по сравнению с традиционными методами объясняются рядом преимуществ, включая изготовление сложной геометрии с высокой точностью, максимальную экономию материалов, гибкость дизайна и индивидуальную настройку. Широкий спектр материалов, которые в настоящее время используются в 3D-печати, включает металлы, полимеры, керамику и бетон. Полилактическая кислота (PLA) и акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) являются основными полимерами, используемыми в 3D-печати композитов. Современные металлы и сплавы обычно используются в аэрокосмическом секторе, поскольку традиционные процессы более трудоемкие, сложные и дорогостоящие. Керамика в основном используется в строительных лесах с 3D-печатью, а бетон является основным материалом, используемым в аддитивном производстве зданий, включая сельскохозяйственные строительные комплексы. Однако низкие механические свойства и анизотропное поведение деталей, напечатанных на 3D-принтере, по-прежнему ограничивают потенциал крупномасштабной печати. Поэтому оптимизированная схема 3D-грунтовки важна для контроля чувствительности к дефектам и анизотропного поведения. Кроме того, изменения в среде печати влияют на качество готовой продукции.

AM способно изготавливать детали различных размеров – от микро- до макро- масштабов. Однако точность напечатанных деталей зависит от точности используемого метода и масштаба печати.

Например, микромасштабная 3D-печать создает проблемы с разрешением, обработкой поверхности и склеиванием слоев, которые иногда требуют последующей обработки, такой как спекание. С другой стороны, ограниченное количество материалов, доступных для 3D-печати, создает проблемы при использовании этой технологии в различных отраслях промышленности. Следовательно, существует необходимость в разработке подходящих материалов, которые можно использовать для 3D-печати. Необходимы также дальнейшие разработки для улучшения механических свойств деталей, напечатанных на 3D-принтере.

На момент написания статьи имеющиеся в продаже технологии 3D-печати подразделяются на семь категорий: дэкструзия материала (ME), распыление связующего (BJ), распыление материала (MJ), ламинирование листов (SL), фотополимеризация в ванне (VP), плавление в порошковом слое (PBF) и направленное осаждение энергии (DED) [18]. На сегодняшний день ME стала самой популярной и широкодоступной категорией AM из-за ее экономической эффективности. Как следует из названия, технологии ME, то есть дэкструзии материала, выстраивают нарезанные 3D-модели слой за слоем с помощью вязкого материала (в пастообразной или полужидкой форме), выдавливаемого через сопло или отверстие. Приложения ME включают прямое написание чернил (DIW), 3D-печать бетоном и изготовление плавных нитей (FFF), также известное как моделирование наплавленного осаждения (FDM™).

#### **В. Моделирование наплавленного покрытия (FDM)**

Метод моделирования наплавленного осаждения (FDM) основан на экструзии термопластичной нити через тонкое сопло матрицы, которое перемещается с помощью G-кода для охвата определенной площади слоя.

Устранение ограничений при проектировании и построении сложной геометрии при использовании минимально возможного количества материала – вот два аспекта 3D-печати, которые считаются наиболее значительными преимуществами этой технологии. Метод имеет много преимуществ, в том числе уменьшение отходов, быстрое прототипирование, возможность создавать сложные детали без помощи специализированных инструментов, возможность работать с несколькими материалами, простую настройку деталей и независимые операции. Несмотря на эти преимущества, методы 3D-печати по-прежнему обладают худшими механическими свойствами из-за дополнительной пористости и анизотропии, вызванных характером производственного процесса с использованием слоев. Эта дополнительная пористость и анизотропия снижают общую прочность материала. В современном промышленном ландшафте аддитивное производство играет важную роль в производстве компонентов с уменьшенной и сложной геометрией. Результатом этого процесса является производство деталей фактической формы и прототипов компонентов или производи-



мых продуктов. Кроме того, этот метод не требует смазки, следовательно, он произвел революцию в обрабатывающей промышленности.

Моделирование наплавленного осаждения (FDM) включает в себя подачу термопластичной нити в 3D-принтер; нить нагревается до точки плавления через нагретое сопло, а затем выдавливается на платформу сборки, отслеживая размеры детали, указанные в файле STL. Когда первый полный слой готов, головка сопла перемещается вверх на один уровень высоты перед трассировкой следующего слоя. Это продолжается слой за слоем, пока деталь не будет завершена.

На рис. 1 показаны шаги, связанные с FDM, от создания модели CAD до постобработки (очистки) детали. Для начала процесса в системе создается файл CAD, который преобразуется в тип файла STL. Этот тип файла STL предоставляет геометрические данные, необходимые 3D-принтеру для изготовления объекта. Четырьмя основными компонентами рецептуры являются отверждаемая ультрафиолетовым излучением фотополимерная жидкость, перфорированный стол, лазерный источник и компьютер для управления процессом. После прочтения типа файла STL 3D-принтеры начинают работать таким образом, что перфо-

рированный стол погружается в резервуар для жидкости. Когда стол перемещается вниз, жидкий полимер попадает на стол через перфорированные отверстия. В тот момент, когда жидкость соприкасается со столом, ультрафиолетовый лазер воздействует на верхнюю поверхность фотожидкого полимера, мгновенно затвердевая. Затем эта таблица снова перемещается вниз, чтобы создать послойную геометрию, и каждый последующий слой сплавляется, начиная с базового слоя. После завершения нанесения последнего слоя 3D-печатная деталь погружается в другую смолу, так что 3D-печатная модель отделяется от жидкого полимера. После этого процесса соединение между всеми слоями в этой конкретной смоле становится прочным, и эта 3D-печатная модель теперь подвергается запеканию в печи УФ-отверждения. Внутри этой печи при заданной температуре все слои затвердевают, повышается прочность и получается желаемая отделка поверхности. Таким образом, все эти процессы в конечном итоге приводят к получению готового объекта. Теперь мы можем охарактеризовать метод 3D-печати, в ходе которого жидкий фотополимер заново преобразуется в 3D-объекты с помощью стереолитографической / SL машины.



Рис. 1 – Этапы FDM

Fig. 1 – FDM steps

Методом наплавления осуществляется моделирование путем экструзии материала. В этом процессе полимерные нити нагреваются до необходимой температуры плавления, головка сопла движется слой за слоем в правильном направлении, чтобы создать деталь. Для этого метода используется 3D-модель объекта для печати в расширении STL. Он отличается различными материалами, удобством использования, долговечностью, доступной стоимостью и широким спектром применения.

Чтобы лучше понять их происхождение, принцип работы FDM представлен на рис. 2. Материальная нить сначала подается в печатающую головку с помощью прижимного колеса. Проходя через разжижитель, сырье нагревается до вязкого расплава и выталкивается из печатающего сопла под действием поступающей твердой нити. Принтеры FDM, сконфигурированные с подвижной платформой для печати в направлении Z, соединены с порталом, который перемещает печатающую головку в направлении X и Y.

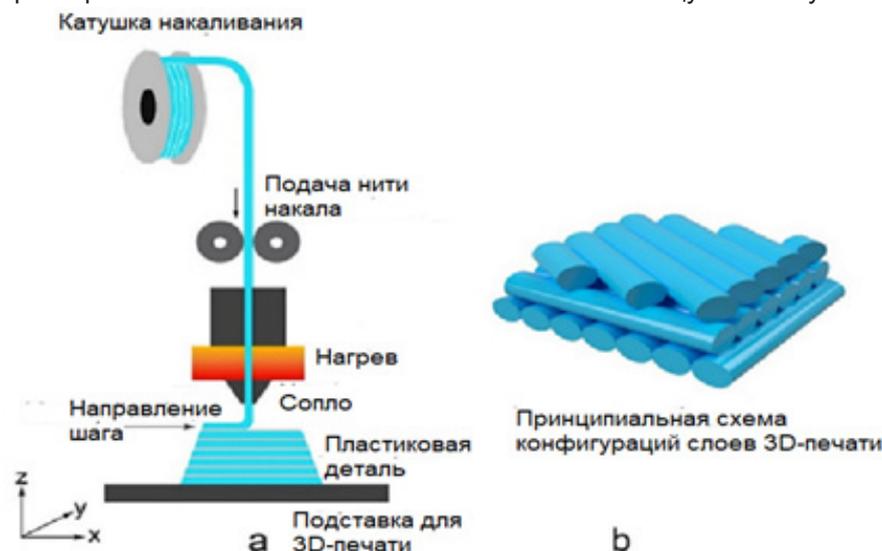


Рис. 2– Метод моделирования наплавленного осаждения (а) механика печати FDM; (b) схематическая диаграмма слоев  
 Fig. 2. – Fused deposition simulation method (a) FDM printing mechanics; (b) schematic layer diagram



Для принтеров с фиксированной печатной площадкой порталная платформа обеспечивает движение во всех направлениях. Маршруты, по которым следует печатающее сопло, называются траекториями. Следуя этим предварительно рассчитанным траекториям, расплавы снова затвердевают после выхода из сопла для формирования каждого слоя отпечатка. Примечательно, что принтеры FDM способны конструировать 3D-компоненты с размерной точностью порядка 100 единиц метрической меры. Неконтролируемое давление после того, как расплав покидает движущуюся печатающую головку, в сочетании с быстро снижающимися температурами означает, что в процессе осаждения не гарантируется достаточное сцепление между нитями материала.

АМ-материалы обычно классифицируют как аморфные, полукристаллические [2, 4, 5, 6, 16]. В зависимости от процесса пластмассы подразделяются на аморфные полимеры или полукристаллические полимеры. ABS (акрилонитрилбутадиенстирол), PETG (полиэтилентерефталатгликоль), PLA (полимолочная кислота), TPU (термопластичный полиуретан) и ПОЛИКАРБОНАТ – некоторые термопластические материалы, используемые в моделировании наплавления.

Рисунок 3 суммирует доступность основных типов термопластичных полимеров в виде нитей. Эти материалы характеризуются рядом характеристик, в том числе устойчивостью к ультрафиолетовому излучению, твердостью, прозрачностью и биосовместимостью.



Рис.3 – Материал, используемый в FDM  
Fig. 3. – Material used in FDM



Рис.5 – Диаграмма параметров и свойств параметров процесса  
Fig. 5. – Diagram of process parameters and properties

### С. Параметры процесса

Процесс печати, известный как FDM, зависит от нескольких параметров, которые можно разделить на три категории:

1. В зависимости от геометрии (размер сопла, размер нити).
2. На основе процесса (процесс плавления, нагрев слоя, скорость печати).
3. Параметры на основе структуры (толщина слоя, геометрия заполнения, плотность заполнения, количество слоев, угол растра, интервал растра и ширина растра).

На рисунке 4. показаны параметры процесса в FDM.



Рис. 4 – Параметры процессов FDM  
Fig. 4. – Process parameters in FDM

Для печати требуется материал максимально возможного качества для исследования всех технологических параметров, участвующих в процессе печати. Обзор литературы подробно описывает несколько важных механических свойств и то, как эти качества меняются в процессе эксплуатации. Поскольку качество продукции было нашим главным приоритетом [5-8, 11, 12] нами была разработана диаграмма причин и следствий различных параметров процесса для различных атрибутов (рис. 5).



### Заключение

В рассмотренной литературе резюмируется, что аддитивное производство представляет собой развивающуюся технологию, находящуюся на начальной стадии, которая может бросить вызов традиционным производственным процессам. Каждый из рассмотренных до сих пор процессов является максимально полезным для достижения производства изделий в кратчайшие сроки с минимальными потерями. Кроме того, процессы помогают с огромной легкостью формировать сложные структуры высочайшего качества.

Определены следующие области для расширения возможностей 3D-печати:

- FDM является наиболее распространенной технологией. FDM подходит для полимерных материалов.

- Многие исследователи пытались определить сложность метода FDM, исследуя различные входные параметры процесса в условиях стандартного тестирования.

- Параметры процесса существенно влияют на механические и термические свойства объектов, напечатанных на 3D-принтере.

- Благодаря механизму построения изделий по принципу послойного добавления механические характеристики и качество изделия напрямую зависят от значений технологических параметров

- Плотность заполнения является наиболее важным параметром для значения прочности на растяжение [2, 4-6]. Этот параметр процесса больше всего влияет на время печати и количество израсходованного материала. Для будущих исследований планируется более детальное изучение влияния плотности заполнения материала в интервале от 10 % до 100 % при формировании компонента изделия сельскохозяйственной техники.

Таким образом, перспективность и актуальность применения этого метода в сельскохозяйственной отрасли очевидна, особенно в современных условиях импортозамещения деталей и узлов сельскохозяйственной техники, как для отечественного, так и импортного обслуживания компонентов автоматизированного фермерского производства [2, 11].

### Список источников

1. Клочков А.Я. Обучение на основе науки / А.Я. Клочков, Т.А. Левина // В мире научных открытий. 2010. №1-2(7). С. 204-206.

2. Levina T.A. Analysis of methods and measuring instruments used for super alloy products (obtained by SLM-method) surface layer quality evaluation / T.A. Levina, E.V. Safonov, T.M. Hung // В сборнике: Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). ICIE: International Conference on Industrial Engineering. Челябинск, 2022. С.174-186.

3. Грозовский Г.И. Средства и методы планирования и управления качеством высокотехнологичных производств / Г.И. Грозовский, О.Ф. Вячеславова, Т.А. Ларцева, О.В. Алексахина, Т. А. Левина // Москва. 2023. 164с.

4. Bavykin O. Use of fractal analysis to evaluate

the surface quality of agricultural machinery parts / O. Bavykin, T. Levina, V. Matrosova, A. Klochkov, V. Enin // В сборнике: BIO WEB OF CONFERENCES, International Scientific – Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019), EDP Sciences 2020. С. 00189.

5. Глухих Я.М. Влияние режимов отжига на механические свойства листов алюминиевого сплава Al-2%Cu Mn-2%Mg / Я.М. Глухих, В.В. Овчинников // Сб. научных статей по итогам работы Международного научного форума «Наука и инновации – современные концепции». Москва, 2022, С.130-133.

6. To Manh Hung. Electrical surface production of steel parts 12x18h10T produced with selection laser fusing methods / To Manh Hung Viktor Vasilyevich Ovchinnikov, Tatiana Anatolyevna Levina, Anna Petrovna Adylina, Yakov Mikhailovich Glukhikh // FORESTRY SCIENCE AND TECHNOLOGY JOURNAL ISSN: 1859 - 3828 THE ELEVENTH YEAR Journal of Forestry Science and Technology Department Vietnam National University of Forestry Chuong My – Ha Noi – Viet Nam. NO. 7 – 2022 p.81-90.

7. Makolov V.I. Assessment of key aspects of the organizational context for quality management / V.I. Makolov, T.A. Levina // International Journal of Economic Perspectives. 2017. v.11. №4. p.642-651.

8. Salimova T.A. Conceptual provisions of formation of the quality management system within the integrated corporate structure / T.A. Salimova, L.I. Biryukova, V.I. Makolov, T.A. Levina // International Business Management. 2015. v.9. №6. p.1129-1135.

9. Абрамов, И. В. Управление цифровым аддитивным производством: особенности и перспективы / И. В. Абрамов // Экономика и управление. 2023. Т. 29, № 5. С. 574-580.

10. Wu, P., A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry / P. Wu, J. Wang, X. Wang // Automation in Construction. 2016. v. 68. p. 21-31.

11. Vyacheslavova O. Analysis of the data collection and processing system for assessing the actual reliability of domestic tractors exemplified by PJSC "Promtractor" / O. Vyacheslavova, I. Parfenyeva, T. Levina, A. Klochkov, // В сборнике: BIO WEB OF CONFERENCES, International Scientific – Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019), EDP Sciences 2020. С. 00190.

12. Клочков, А.Я. Оценка и анализ факторов внутренней и внешней среды, влияющих на систему менеджмента качества интегрированной корпоративной структуры / А.Я. Клочков, Т.А. Левина // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2015. №2 С.177-187.

13. Stone, M. Meet Charles Hull, Inventor of Stereo lithography –/ M. Stone, P. Wu, J. Wang, X. Wang. A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry // Automation in Construction. – 2016. – 68. – PP. 21-31. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>.



14. ISO/ASTM52900-15. Standard terminology for additive manufacturing-general principles-terminology. – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2015.

15. Additive Manufacturing Reports and Publications. State Of The Industry Reports – URL: <https://wohlersassociates.com/reports/>

16. Godec D. A Guide to Additive Manufacturing. / D. Godec, J. Gonzalez-Gutierrez, A. Nordin, E. Pei, J. Ureña, // Switzerland: Springer, 2022. – 324 p. . – doi: 10.1007/978-3-031-05863-9.

17. Berman, B. 3-D printing: The new industrial revolution.// Business Horizons. 2012. v. 55. P.155-162.

18. Lipson, H. Fabricated: The New World of 3D Printing. – Indianapolis H. Lipson, M. Kurman. // John Wiley & Sons, 2013. 320p.

19. Stansbury, J.W. 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities / J.W. Stansbury, M. J. Idacavage. // Dental Materials. 2016 v.32. PP.54-64.

**Вклад авторов:**

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### References

1. Klochkov A.YA. Obuchenie na osnove nauki / A.YA. Klochkov, T.A. Levina // V mire nauchnyh otkrytij. 2010. №1-2(7). S. 204-206.
2. Levina T.A. Analysis of methods and measuring instruments used for super alloy products (obtained BySLM-method) surface layer quality evaluation / T.A. Levina, E.V. Safonov, T.M. Hung // V sbornike: Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). ICIE: International Conference on Industrial Engineering. CHelyabinsk, 2022. S.174-186.
3. Grozovskij G.I. Sredstva i metody planirovaniya i upravleniya kachestvom vysokotekhnologichnyh proizvodstv / G.I. Grozovskij, O.F. Vyacheslavova, T.A. Larceva, O.V. Aleksashina, T. A. Levina // Moskva. 2023. 164s.
4. Bavykin O. Use of fractal analysis to evaluate the surface quality of agricultural machinery parts / O. Bavykin, T. Levina, V. Matrosova, A. Klochkov, V. Enin // V sbornike: BIO WEB OF CONFERENCES, International Scientific – Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019), EDP Sciences 2020. C. 00189.
5. Gluhih YA.M. Vliyaniye rezhimov otzhiga na mekhanicheskie svoystva listov alyuminievogo splava Al-2%Cu Mn-2%Mg / YA.M. Gluhih, V.V. Ovchinnikov // Sb. nauchnyh statej po itogam raboty Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma «Nauka i innovacii – sovremennye koncepcii». Moskva, 2022, S.130-133.
6. To Manh Hung. Electrical surface production of steel parts 12x18h10T produced with selection laser fusing methods / To Manh Hung Viktor Vasilyevich Ovchinnikov, Tatiana Anatolyevna Levina, Anna Petrovna Adylina, Yakov Mikhailovich Glukhikh // FORESTRY SCIENCE AND TECHNOLOGY JOURNAL ISSN: 1859 - 3828 THE ELEVENTH YEAR Journal of Forestry Science and Technology Department Vietnam National University of Forestry Chuong My – Ha Noi – Viet Nam. NO. 7 – 2022 p.81-90.
7. Makolov V.I. Assessment of key aspects of the organizational context for quality management / V.I. Makolov, T.A. Levina // International Journal of Economic Perspectives. 2017. v.11. №4. p.642-651.
8. Salimova T.A. Conceptual provisions of formation of the quality management system within the integrated corporate structure / T.A. Salimova, L.I. Biryukova, V.I. Makolov, T.A. Levina // International Business Management. 2015. v.9. №6. p.1129-1135.
9. Abramov, I. V. Upravlenie cifrovym additivnym proizvodstvom: osobennosti i per spektivy / I. V. Abramov // Ekonomika i upravlenie. 2023. T. 29, № 5. S. 574-580.
10. Wu, P., A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry / P. Wu, J. Wang, X. Wang // Automation in Construction. 2016. v. 68. p. 21-31.
11. Vyacheslavova O. Analysis of the data collection and processing system for assessing the actual reliability of domestic tractors exemplified by PJSC "Promtractor" / O. Vyacheslavova, I. Parfenyeva, T. Levina, A. Klochkov, // V sbornike: BIO WEB OF CONFERENCES, International Scientific – Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019), EDP Sciences 2020. C. 00190.
12. Klochkov, A.YA. Ocenka i analiz faktorov vnutrennej i vneshnej sredy, vliyayushchih na sistemu menedzhmenta kachestva integrirovannoj korporativnoj struktury / A.YA. Klochkov, T.A. Levina // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravlenie. 2015. №2 S.177-187.
13. Stone, M. Meet Charles Hull, Inventor of Stereo lithography –/ M. Stone, P. Wu, J. Wang, X. Wang. A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry // Automation in Construction. – 2016. – 68. – PP. 21-31. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>.
14. ISO/ASTM52900-15. Standard terminology for additive manufacturing-general principles- terminology. – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2015.
15. Additive Manufacturing Reports and Publications. State Of The Industry Reports – URL: <https://wohlersassociates.com/reports/>
16. Godec D. A Guide to Additive Manufacturing. / D. Godec, J. Gonzalez-Gutierrez, A. Nordin, E. Pei, J. Ureña, // Switzerland: Springer, 2022. – 324 p. . – doi: 10.1007/978-3-031-05863-9.



17. Berman, B. 3-D printing: The new industrial revolution. // *Business Horizons*. 2012. v. 55. P.155-162.  
18. Lipson, H. *Fabricated: The New World of 3D Printing*. – Indianapolis H. Lipson, M. Kurman. // John Wiley & Sons, 2013. 320p.  
19. Stansbury, J.W. 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities / J.W. Stansbury, M. J. Idacavage. // *Dental Materials*. 2016 v.32. PP.54-64.

*Contribution of the authors:*

*All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

#### **Информация об авторах**

**Левина Татьяна Анатольевна**, канд. экон. наук, зав. каф. «Стандартизация, метрология и сертификация», Московский политехнический университет, t.a.levina@mospolytech.ru

**Кушнир Иван Сергеевич**, магистрант каф. «Стандартизация, метрология и сертификация», Московский политехнический университет, kushn1r\_ivan@mail.ru.

**Глухих Яков Михайлович**, студент 3 курса факультета «Машиностроение» ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», Gluhihyak@gmail.com

**Клочков Анатолий Яковлевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», klochkov500@mail.ru

#### **Author information**

**Levina Tatiana Anatolyevna**, Candidate of Economic Sciences, Head of the Department "Standardization, Metrology and Certification", Moscow Polytechnic University, t.a.levina@mospolytech.ru

**Kushnir Ivan Sergeevich**, Master's student of the Department "Standardization, Metrology and Certification", Moscow Polytechnic University, kushn1r\_ivan@mail.ru .

**Glukhikh Yakov Mikhailovich**, 3rd year student of the Faculty of Mechanical Engineering, Moscow Polytechnic University, Russian Federation, Moscow, Gluhihyak@gmail.com

**Klochkov Anatoly Yakovlevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Russian Federation, Ryazan, klochkov500@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17.07.2023; одобрена после рецензирования 10.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 17.07.2023; approved after reviewing 10.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 631.95  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.46.49.018**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУБЛИМАЦИИ ТАБЛЕТИРОВАННОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В УСЛОВИЯХ ТРАНСПОРТИРОВКИ****Евгений Николаевич Неверов**<sup>1</sup>✉, **Игорь Алексеевич Короткий**<sup>2</sup>, **Роман Алексеевич Ворошилин**<sup>3</sup>, **Алексей Николаевич Гринюк**<sup>4</sup><sup>1,2,3,4</sup> Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия<sup>1</sup> neverov42@mail.ru<sup>2</sup> krot69@mail.ru<sup>3</sup> rom.vr.22@mail.ru<sup>4</sup> jettastream@inbox.ru**Аннотация.**

**Проблема и цель.** В случае применения сухого льда в установках для охлаждения и хранения продуктов возникает необходимость в регулировании интенсивности процесса сублимации, вызванная требованиями рационального использования CO<sub>2</sub> для поддержания заданных температурных условий, в связи с этим целью данной научной статьи является изучение продолжительности сублимации таблетированного диоксида углерода полученного при различных давлениях прессования и температурах хранения в условиях транспортировки пищевых продуктов.

**Методология.** Исследования проведены на базе научно-образовательного центра «ХКТuТ» Кемеровского государственного университета. С целью изучения влияния давления прессования и температуры хранения на интенсивность сублимации таблетированного диоксида углерода была создана установка на базе пресса ПМЭ–20МГ4 для получения твердой углекислоты и последующего его таблетирования. Данная установка для получения таблеток углекислоты в лабораторных условиях в полной мере обеспечивает производство качественных таблеток за небольшой период времени, которые могут использоваться в научных и производственных целях. Прессованный и кристаллический диоксид углерода производится в установке в виде цилиндров диаметром 0,018 м, высотой 0,020 м и массой 7±0,5 граммов. Прессование образцов производилось при давлении: 5, 10, 15, 20 кПа. Температура в камере хранения образцов составляла: -75, -60, -30, -16, 5, 25 °С с относительной влажностью 20 %. Контроль массы таблетированного диоксида углерода производили на аналитических весах.

**Результаты.** В ходе проведенного исследования, выявлена прямая зависимость между продолжительностью сублимации и давлением при котором прессуют снегообразный диоксид углерода, однако разница продолжительности сублимации таблетированного CO<sub>2</sub> при 20 кПа и 15 кПа отличается незначительно, что позволяет в практике производства таблетированного диоксида ограничиться давлением 15 кПа. Существует заметная разница в продолжительности сублимации таблетированного диоксида углерода, прессованного под минимальным давлением и навеской, которая не подвергалась прессованию. Сублимация таблетированного образца, прессованного под давлением 5 кН, происходит менее интенсивно, т.к. в теплообмене участвует меньшая площадь поверхности снегообразного диоксида углерода. С увеличением давления расстояние между частицами гораздо меньше, что приводит к снижению теплообмена и потери массы таблетки CO<sub>2</sub>. Выявлено, что применение прессования и кристаллизации CO<sub>2</sub> позволяет снизить интенсивность процесса сублимации тем самым увеличить продолжительность транспортировки продуктов в несколько раз.

**Заключение.** Результаты исследования позволили расширить область применения диоксида углерода, т.к. полученные зависимости позволяют в установках для охлаждения и хранения продуктов регулировать интенсивность процесса сублимации, в результате чего, происходит поддержание заданных температурных условий в грузовых объемах транспортных средств.

**Ключевые слова:** диоксид углерода, сублимация, давление, пресс, таблетирование, транспортировка, температура

**Для цитирования:** Неверов Е.Н., Короткий И.А., Ворошилин Р.А., Гринюк А.Н. Определение продолжительности сублимации таблетированного диоксида углерода в условиях транспортировки // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева



Original article

**DETERMINATION OF THE DURATION OF SUBLIMATION OF TABLETED CARBON DIOXIDE UNDER TRANSPORTATION CONDITIONS****Evgeny N. Neverov**<sup>1✉</sup>, **Igor Alekseevich Korotkiy**<sup>2</sup>, **Roman A. Voroshilin**<sup>3</sup>, **Alexey Nikolaevich Grinyuk**<sup>4</sup><sup>1,2,3,4</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, Russia<sup>1</sup> neverov42@mail.ru<sup>2</sup> krot69@mail.ru<sup>3</sup> rom.vr.22@mail.ru<sup>4</sup> jettastream@inbox.ru**Abstract.**

**Problem and purpose.** In the case of the use of dry ice in installations for cooling and storage of products, there is a need to regulate the intensity of the sublimation process caused by the requirements of rational use of CO<sub>2</sub> to maintain specified temperature conditions, in this regard, the purpose of this scientific article is to study the duration of sublimation of tableted carbon dioxide obtained at various pressing pressures and storage temperatures in food transportation conditions.

**Methodology.** The research was conducted on the basis of the scientific and educational center "HCTIT" of Kemerovo State University. In order to study the effect of pressing pressure and storage temperature on the sublimation intensity of tableted carbon dioxide, an installation based on the PME – 20MG4 press was created for the production of solid carbon dioxide and its subsequent tableting. This installation for the production of carbon dioxide tablets in laboratory conditions fully ensures the production of high-quality tablets for a short period of time, which can be used for scientific and industrial purposes. Pressed and crystalline carbon dioxide is produced in the installation in the form of cylinders with a diameter of 0.018 m, a height of 0.020 m and a weight of 7 ± 0.5 grams. The samples were pressed at a pressure of 5, 10, 15, 20 kPa. The temperature in the sample storage chamber was: -75, -60, -30, -16, 5, 25 °C with a relative humidity of 20%. The control of the mass of tableted carbon dioxide was carried out on analytical scales.

**Results.** In the course of the study, a direct relationship was revealed between the duration of sublimation and the pressure at which snow-like carbon dioxide is pressed, however, the difference in the duration of sublimation of tableted CO<sub>2</sub> at 20 kPa and 15 kPa differs slightly, which allows in the practice of production of tableted dioxide to be limited to a pressure of 15 kPa. There is a noticeable difference in the duration of sublimation of tableted carbon dioxide pressed under minimal pressure and a suspension that has not been pressed. Sublimation of a tablet sample pressed under a pressure of 5 kN occurs less intensively, because a smaller surface area of snow-like carbon dioxide is involved in heat exchange. With increasing pressure, the distance between the particles is much smaller, which leads to a decrease in heat exchange and loss of mass of the CO<sub>2</sub> tablet. It is revealed that the use of pressing and crystallization of CO<sub>2</sub> allows to reduce the intensity of the sublimation process, thereby increasing the duration of transportation of products several times.

**Conclusion.** The results of the study made it possible to expand the scope of carbon dioxide application, since the obtained dependencies allow the intensity of the sublimation process to be regulated in installations for cooling and storing products, as a result of which the specified temperature conditions are maintained in the cargo volumes of vehicles.

**Key words:** carbon dioxide, sublimation, pressure, press, tableting, transportation, temperature

**For citation:** Neverov E.N., Korotkiy I.A., Voroshilin R.A., Grinyuk A.N. Determination of the duration of sublimation of tableted carbon dioxide under transportation conditions // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 3. P. 132-140 <https://doi.org/0.36508/RSATU.2023.46.49.018>

**Введение**

В последние годы все более актуальным становится вопрос развития технологий применения диоксида углерода в различных областях агропромышленного комплекса и пищевой промышленности [1-4].

Использование диоксида углерода в различных технологических циклах весьма актуально в связи с его большими объемами. Установлено, что запасы замороженного CO<sub>2</sub> в виде кристалло-

гидратов составляют 1,5 трлн т, что вдвое больше содержания его в атмосфере [5-6].

Динамика производства диоксида углерода в России в период с 2015 по 2022 год была положительной за исключением 2017 года, в котором наблюдалось незначительное снижение на 2,5 %.

Натуральный объем производства диоксида углерода в 2022 году составил 462,5 тыс. тонн, что эквивалентно 4,9 млрд руб. Темп прироста составил 1 % от натурального объема и 2 % от

стоимостного. По различным данным, объем внутреннего потребления диоксида углерода в последние годы стабилен и находится в пределах 420-430 тыс. тонн [7-9].

В настоящее время специалисты рассматривают различные области применения диоксида углерода, одно из которых это использование  $\text{CO}_2$  при транспортировке пищевых продуктов [10-13].

Транспортировка пищевых продуктов является одним из важнейших процессов в цепи пищевой промышленности, которая может длиться от нескольких часов до нескольких суток при этом в грузовом объеме, как правило, должна поддерживаться определенная температура и влажность. В настоящее время при перевозке пищевых продуктов используют специально оборудованный автомобильный, железнодорожный и водный транспорт. Большое распространение при перевозке продуктов на предприятиях розничной и оптовой торговли имеют авторефрижераторы с изотермическими кузовами с охлаждением, а также специально оборудованные контейнеры снабженные установками, работающими на основе стандартного холодильного цикла, поддерживающими в грузовом отсеке заданный температурный режим. Достоинством данного типа транспортировки является неограниченный срок доставки продукта, так как холодильная машина, может работать без ограничений по времени. Однако данное достоинство требует дополнительных энергетических затрат, например на привод компрессора холодильной машины, кроме того для интенсификации процесса холодильной обработки продуктов используют принудительную циркуляцию воздуха, что приводит к потере массы не упакованных продуктов.

Для транспортировки некоторых пищевых продуктов или специфических грузов иногда требуется транспорт с временным источником холода водяной лед, снег и др. Достоинством такого транспорта является отсутствие энергетических затрат, но производство и транспортировка водного льда несет как экономические затраты, так и занимает часть полезного объема кузова транспортного средства, что снижает эффективность транспортного средства, кроме того при таянии льда и снега образуется вода которая ухудшает санитарные требования в объекте. В связи с этим и ужесточением требований к применению традиционных хладагентов и даже запрету применения их в холодильных установках для транспортировки продуктов получает широкое развитие разработка и применение систем и технологий, работающих на диоксиде углерода [14-18].

При использовании диоксида углерода в твердой фазе появляется возможность транспортировки пищевых продуктов на значительные расстояния без затрат дополнительной электроэнергии и минимальным затраченным объемом под хладагент, так как внутри камеры с продуктом во время транспортировки воздушно-газовой средой полученной при сублимации снегообразного диоксида углерода обеспечивается нормируемый темпера-

турный режим. Так же, при транспортировке неупакованных продуктов с использованием снегообразного диоксида углерода можем наблюдать снижение усушки и предотвращение ухудшения качества продукта до минимума [19].

В случае применения сухого льда в установках для охлаждения и хранения продуктов возникает необходимость в регулировании интенсивности процесса сублимации, вызванная требованиями рационального использования  $\text{CO}_2$  для поддержания заданных температурных условий, в связи с этим целью данной научной статьи является изучение продолжительности сублимации таблетированного диоксида углерода полученного при различных давлениях прессования и температурах хранения в условиях транспортировки пищевых продуктов.

### Материалы и методы исследования

Исследования проведены на базе научно-образовательного центра «ХКТиТ» Кемеровского государственного университета.

С целью изучения влияния давления прессования и температуры хранения на интенсивность сублимации таблетированного диоксида углерода была создана установка на базе прессы ПМЭ – 20МГ4 для получения твердой углекислоты и последующего его таблетирования, общий вид которой представлен на рисунке 1. Схема работы установки представлена на рисунке 2, температура окружающей среды  $20 \pm 2$  °С.

В экспериментальный стенд входит: пресс ПМЭ – 20МГ4 (1), состоящий из двух плит верхней, свободно перемещающейся (2) и нижней установленной неподвижно (3) с устройством распределения (4). Стол (6) с расположенным на нем теплоизолированным контейнером (7) для подачи к матрице (5) преобразованного методом дросселирования снегообразного  $\text{CO}_2$ . Пуансоны (8) установлены на нижней неподвижной плите, они обеспечивают подачу в матрицу (5) и изготовление таблетированного диоксида углерода методом прессования. Для размещения всех узлов установки используется опорная плита (9).

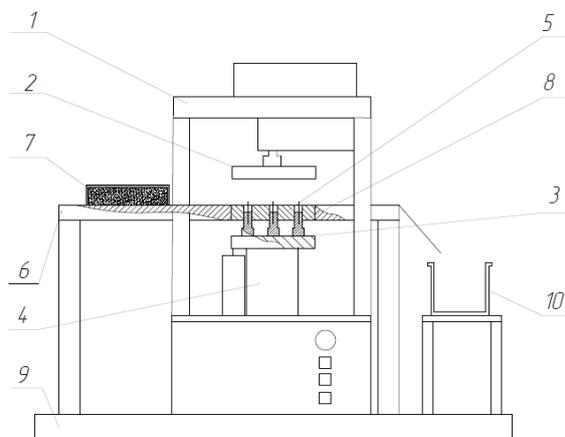


Рис. 1 – Схема установки для производства таблетированного диоксида углерода  
Fig. 1 – Diagram of a plant for the production of tableted carbon dioxide

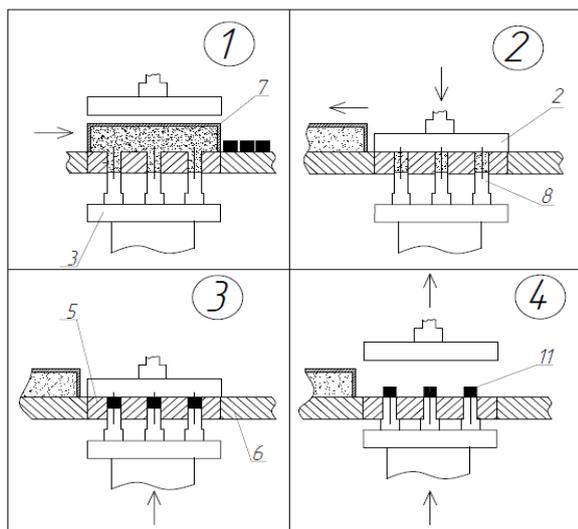


Рис. 2 – Схема работы установки для производства таблетированного диоксида углерода  
Fig. 2 – Scheme of operation of the plant for the production of tableted carbon dioxide

Снегообразный диоксид углерода подается в изотермический контейнер (7), с боковыми направляющими для салазок. Порция снегообразного  $\text{CO}_2$  подается в теплоизолированный контейнер, установленный на столе (6), который перемещается по матрице (5) заполняя ее отверстия снегообразным диоксидом углерода. После полного заполнения отверстий контейнер возвращается в исходное положение и подвижная верхняя плита (2) начинает опускаться по команде оператора до уровня матрицы (5), далее в матрицу через нагруженную плиту начинают подаваться пуансоны (8) которые оказываются зажатыми между нижней плитой и получаемыми блоками таблетированного диоксида углерода (11). Размеры блоков таблетированного диоксида углерода могут варьировать в зависимости от выбранной матрицы (5), выбор которых зависит от технологических требований к таблетированному  $\text{CO}_2$ . Как только пуансон (8) проходит отмеренную длину, которая соответствует высоте получаемой таблетки  $\text{CO}_2$ , верхняя подвижная плита (2) поднимается и нижняя (3) за ней. В результате чего, сами пуансоны (8) выталкивают полученные блоки таблетированного диоксида углерода (11) на матрицу (5). С поверхности матрицы (5) таблетка срезается нижней поверхностью контейнера (7) в теплоизолированный контейнер (10), который перемещается для подачи следующей порции снегообразного  $\text{CO}_2$  в отверстия матрицы (5).

Установка позволяет производить высокого качества таблетированный диоксид углерода различной плотности, что позволяет его использовать в лабораториях и производственных линиях с возможностью регулирования продолжительности его сублимации.

Прессованный и кристаллический диоксид углерода производится в установках в виде цилиндров диаметром 0,018 м, высотой 0,020 м и

массой  $7 \pm 0,5$  граммов, которые по 5 штук помещали в холодильные лари «Libner med line» и «Vestfrost solutions vt 78» и хранили в них при температурах:  $-75$ ,  $-60$ ,  $-30$ ,  $-16$ ,  $5$ ,  $25$  °C до полной сублимации  $\text{CO}_2$ . Относительная влажность в ларях устанавливалась на уровне 20 % и контролировалась термогигрометром для измерения влажности «Testo 608-H2». Прессование образцов производилось при давлении: 5, 10, 15, 20 кПа. Контроль массы таблетированного диоксида углерода производили на аналитических весах «DA-124».

Кристаллический диоксид углерода получен методом замораживания жидкой углекислоты в специально разработанном аппарате [10]. Прессованный диоксид углерода производили методом дросселирования из жидкого диоксида углерода в снегообразную фазу в генераторе-снегообразователе, а используя установку,  $\text{CO}_2$  был спрессован в цилиндры [11].

#### Результаты исследований и их обсуждение

Для определения продолжительности сублимации таблетированного диоксида углерода в зависимости от давления прессования и температуры его хранения была проведена серия исследований.

На рисунке 3 показаны графики продолжительности сублимации углекислотных таблеток при температуре минус  $75$  °C прессованных при различных давлениях.

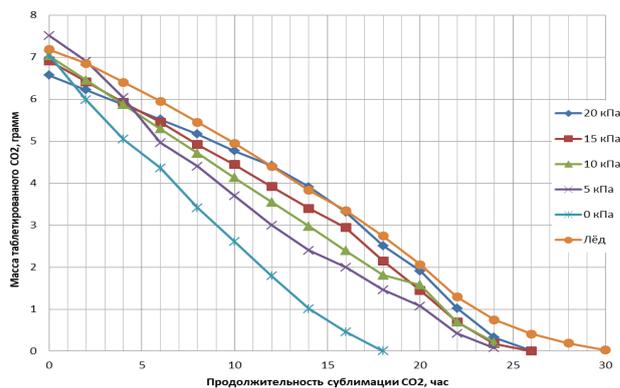


Рис. 3 – График сублимации таблеток  $\text{CO}_2$  при температуре хранения минус  $75$  °C  
Fig. 3 – Graph of sublimation of  $\text{CO}_2$  tablets at a storage temperature of minus  $75$  °C

Анализируя зависимости, можно наблюдать, что продолжительность сублимации до потери 1/2 массы таблетки, прессованной при 20 кПа составила 16 часов, время полной сублимации  $\text{CO}_2$  24 часа. Время сублимации замороженной углекислоты при данной температуре составило 30 часов, а потеря 1/2 массы наблюдалась также на 16 часа.

Потери массы, которые фиксировались каждые 2 часа, имеют прямую зависимость от давления, при котором были сформированы образцы. Исследования прекращалось, после полной сублимации образца.

Разница в продолжительности сублимации та-



блеток 20 кПа и 15 кПа при данной температуре отличается незначительно и составила 1,5 часа.

Сублимация таблетки  $\text{CO}_2$ , прессованной под давлением 5 кН происходит более интенсивно, чем у других образцов, это связано с тем, что в теплообмене участвует большая площадь поверхности снегообразного диоксида углерода, чем в других образцах, прессованных под более высоким давлением. Расстояние между частицами снегообразного диоксида гораздо больше, что приводит к увеличению интенсивности теплообмена и увеличению потери массы таблетированного  $\text{CO}_2$ . При этом существует заметная разница во времени сублимации таблетки, прессованной под минимальным давлением 5 кПа и навеской, которая не подвергалась прессованию.

На рисунке 4 представлены графики продолжительности сублимации углекислотных таблеток при температуре минус  $60^\circ\text{C}$  прессованных при

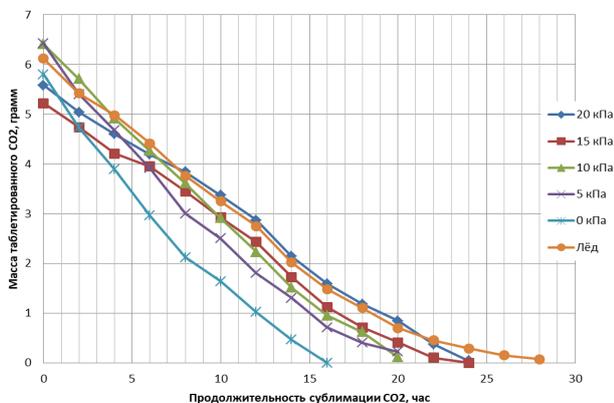


Рис. 4 – График сублимации таблеток  $\text{CO}_2$  при температуре хранения минус  $60^\circ\text{C}$

Fig. 4 – Graph of sublimation of  $\text{CO}_2$  tablets at a storage temperature of minus  $60^\circ\text{C}$

Процесс сублимации происходит при более высокой температуре, соответственно время полной сублимации всех образцов сократилось в среднем на 2 часа.

Анализ графика показал, что при равной массе таблетки, сформированной при 20 кПа и кристаллическим  $\text{CO}_2$ , полученным замораживанием жидкой углекислоты, динамика процесса сублимации очень близка. Но, ближе к концу процесса у кристаллического  $\text{CO}_2$  наблюдается явное замедление интенсивности сублимации. Это связано с тем, что из-за кристаллического состояния,  $\text{CO}_2$  имеет ближе к центру монокристаллическое строение без каких либо дефектов, тем самым площадь контакта с воздухом при сублимации снижается.

На рисунке 5 представлены графики продолжительности сублимации углекислотных таблеток при температуре минус  $30^\circ\text{C}$  прессованных при различных давлениях.

При температуре минус  $30^\circ\text{C}$  более явно наблюдается зависимость давления прессуемой таблетки от продолжительности сублимации и соот-

ветственно потери массы.

Анализируя диаграмму, можно сделать вывод, что продолжительность сублимации снегообразного  $\text{CO}_2$  при 20 кПа и замороженного  $\text{CO}_2$  составила 22 часа. У таблеток, прессованных при 15 кПа и 10 кПа продолжительность составила 20 и 18 часов соответственно. Образец, прессованный при 5 кПа показал всего – 15 часов. При этом результаты эксперимента подтверждают, что при использовании в промышленности снегообразного диоксида углерода его необходимо прессовать даже минимальным давлением, так как разница между прессованным образцом и непрессованным составляет более 5 часов, а разница в сублимации образцов 5 кПа и ближайшего к нему образца 10 кПа составляет 3 часа, что достаточно выгодно при транспортировке продуктов.

На данном графике хорошо видно, что у всех таблетированных образцов через несколько часов наблюдается замедление процесса сублимации, это связано с выпадением инея на поверхности таблеток, при конденсации влаги из-за подвода тепла от окружающей среды. Выпадение влаги должно было привести к увеличению теплообмена, но выпавшая влага при низкой температуре в камере вымерзала, образуя слой рыхлого инея, который выступает в качестве теплоизоляции, поэтому под ним процесс сублимации происходил медленнее. При этом данный эффект замечен независимо от температуры хранения, но чем ниже температура хранения, тем быстрее вымерзала влага и выпадал иней, что существенного влияния не оказывало на предыдущие исследования.

Также отмечено, что у замороженного монокристаллического  $\text{CO}_2$  выпадения инея наблюдалось в меньшей степени, тем самым графики имеют более линейный характер чем у прессованного таблетированного диоксида углерода.

На рисунке 6 представлены графики продолжительности сублимации углекислотных таблеток при температуре минус  $16^\circ\text{C}$  прессованных при

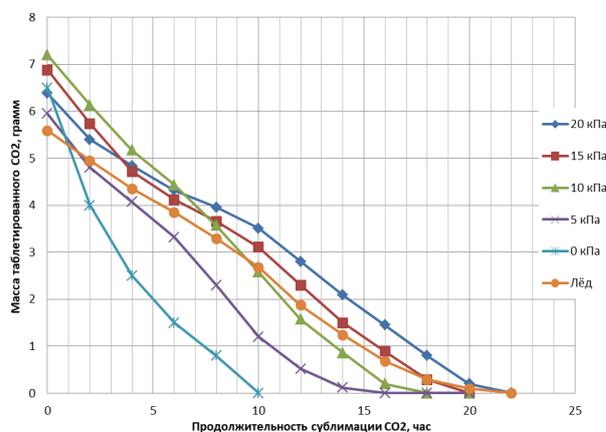


Рис. 5 – График сублимации таблеток  $\text{CO}_2$  при температуре хранения минус  $30^\circ\text{C}$

Fig. 5 – Graph of sublimation of  $\text{CO}_2$  tablets at a storage temperature of minus  $30^\circ\text{C}$

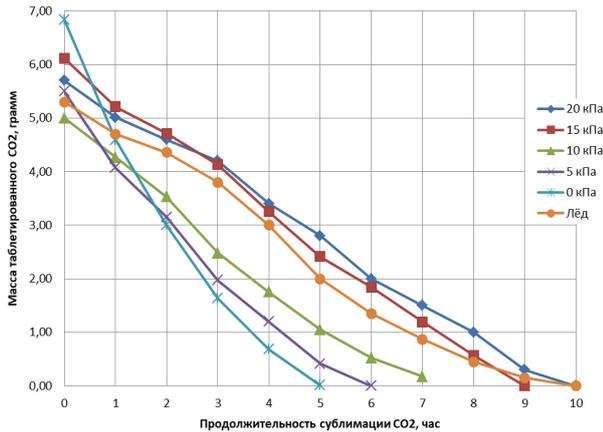


Рис. 6 – График сублимации таблеток  $\text{CO}_2$  при температуре хранения минус  $16^\circ\text{C}$   
 Fig. 6 – Graph of sublimation of  $\text{CO}_2$  tablets at a storage temperature of minus  $16^\circ\text{C}$

При температуре минус  $16^\circ\text{C}$  потери массы существенно выросли относительно первых трех серий экспериментов, поэтому вес образцов таблетированного  $\text{CO}_2$  фиксировался каждый час. Данный эксперимент полностью подтверждает зависимости предыдущих трех. Так, общее время сублимации сократилось в 3 раза относительно образцов при минус  $75^\circ\text{C}$  и в 2 раза относительно образцов хранимых при температуре минус  $30^\circ\text{C}$ . Из анализа графиков представленных на рисунке 6 можем наблюдать, что снегообразный диоксид углерода, неподверженный прессованию, несмотря на самую большую массу из всех образцов, помещенных в теплоизолированную камеру сублимировал всего за 5 часов.

Также можно заметить, что при данной температуре прессованный при 20 кПа и кристаллический диоксид углерода при одинаковой массе закончили сублимировать в одно время в течение 10 часов. Это можно объяснить тем, что у прессованного  $\text{CO}_2$  выпало на поверхности большое количество инея, что снизило общее время сублимации, чем у кристаллического  $\text{CO}_2$ , который компенсировал продолжительность сублимации в конце процесса, замедлив ее из-за монолитной структуры.

При данных показателях продолжительности сублимации, можно сделать вывод, что транспортировка прессованного, кристаллического диоксида углерода и продуктов в его среде, при минус  $16^\circ\text{C}$  возможна только на небольшие расстояния, при условии, что он сразу будет реализован.

На рисунке 7 представлены графики продолжительности сублимации углекислотных таблеток при температуре  $5^\circ\text{C}$  прессованных при различных давлениях.

Анализ диаграммы показал, что продолжительность сублимации до потери 1/2 массы таблетки, прессованной при 20 кПа составила 2 часа, а продолжительность полной сублимации  $\text{CO}_2$  4 часа. Продолжительность сублимации кристаллического диоксида углерода при данной температуре со-

ставила 2,5 часа, а потеря 1/2 массы наблюдалась также при 2 часах. Таким образом, можно сделать вывод, что у кристаллического диоксида углерода в конце процесса снижается скорость сублимации в отличие от снегообразного  $\text{CO}_2$ .

Потери массы образцов фиксировались каждые 30 минут, и установлена прямая зависимость от давления, при котором были сформированы образцы. Результаты исследования при температуре  $5^\circ\text{C}$  показывают, что хранить твердый  $\text{CO}_2$  при данной температуре при любом давлении прессования нецелесообразно, но возможно для охлаждения продуктов в герметичном контейнере, на которые не влияет концентрация  $\text{CO}_2$  и достаточно низкая температура, так как температура сублимации  $\text{CO}_2$  составляет минус  $78,5^\circ\text{C}$ .

На рисунке 8 представлены графики продолжительности сублимации углекислотных таблеток при температуре  $25^\circ\text{C}$  прессованных при различ-

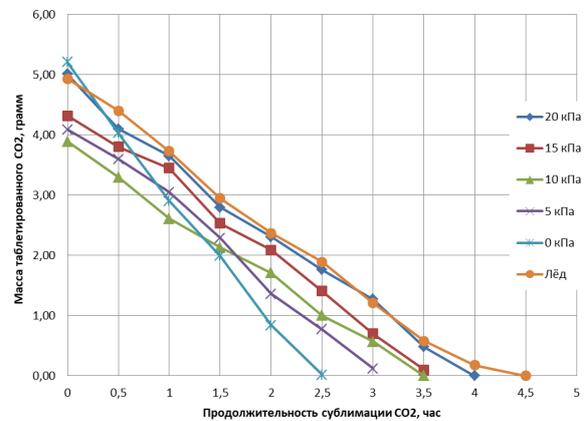


Рис. 7 – График сублимации таблеток  $\text{CO}_2$  при температуре хранения  $5^\circ\text{C}$   
 Fig. 7 – Graph of sublimation of  $\text{CO}_2$  tablets at a

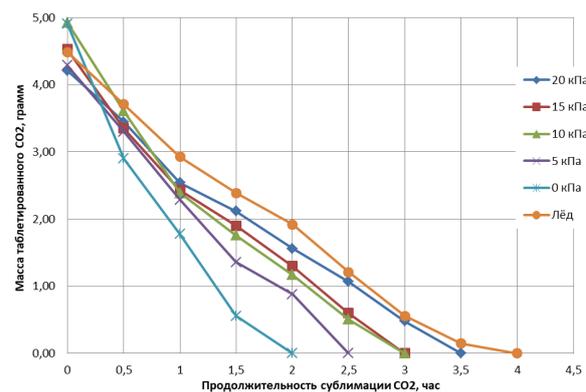


Рис. 8 – График сублимации таблеток  $\text{CO}_2$  при температуре хранения  $25^\circ\text{C}$   
 Fig. 8 – Graph of sublimation of  $\text{CO}_2$  tablets at a storage temperature of  $25^\circ\text{C}$

Анализ графиков представленных на рисунке 8 подтверждает закономерности, выявленные в предыдущих исследованиях. Таблетки из  $\text{CO}_2$  при



комнатной температуре в изотермическом контейнере сублимируют достаточно интенсивно. При предложенных давлениях продолжительность сублимации составила от 2 до 4 часов. Соответственно при использовании более низких температур при транспортировке продуктов сублимация прессованного снегообразного диоксида углерода происходит более длительное время, что впоследствии позволит увеличить продолжительность транспортировки продуктов. Максимальное время сублимации таблетки прессованной углекислоты при 20 кПа составило 26 часов, а кристаллического  $\text{CO}_2$  – 30 часов.

### Заключение

Таким образом, в ходе проведенного исследования, выявлена прямая зависимость между продолжительностью сублимации и давлением при котором прессуют снегообразный диоксид углерода, однако разница продолжительности сублимации таблетированного  $\text{CO}_2$  при 20 кПа и 15 кПа отличается незначительно и составляет примерно от 15 минут до двух часов в зависимости от температуры хранения.

Также следует отметить, что существует заметная разница в продолжительности сублимации таблетированного диоксида углерода, прессованного под минимальным давлением и навеской, которая не подвергалась прессованию. Сублимация таблетированного образца, прессованного под давлением 5 кН происходит менее интенсивно, т.к. в теплообмене участвует меньшая площадь поверхности снегообразного диоксида углерода. С увеличением давления расстояние между частицами становится гораздо меньше, что приводит к снижению теплообмена и потери массы таблетки  $\text{CO}_2$ .

Выявлено, применение прессования и кристаллизации  $\text{CO}_2$  позволяет снизить интенсивность процесса сублимации тем самым увеличить продолжительность транспортировки продуктов в несколько раз.

### Список источников

1. Васильев, И.В., Анализ областей эффективного применения диоксида углерода и газовых смесей на его основе / И.В. Васильев, И.В. Левин, А.Н. Ефимов, В.Н. Уткин // Технические газы. – № 4 – 2007. – С. 51-58.
2. Неверов, Е.Н. Перспективные направления декарбонизации промышленного производства с высокой составляющей углеродного следа в выпускаемой продукции / Е.Н. Неверов, И.А. Короткий, П.С. Коротких, Н.С. Голубева // Ползуновский вестник. – 2022. – № 4. – Т.2. – С. 54-65.
3. Jun Wang. Thermodynamic properties for carbon dioxide / Jun Wang, Chun-Sheng Jia, Chang-Jun Li, Xiao-Long Peng, Lie-Hui Zhang, Jian-Yi Liu // *Acs Omega*. – 2019. –Vol. 4. – P. 19193 – 19198.
4. Arshad, M.S. Quantification of carbon dioxide released from effervescent granules as a predictor of formulation quality using modified Chittick apparatus / M.S. Arshad, K. Sedhain, A. Hussain// *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. – 2019. –Vol. 18 (3). – P. 449 – 458.

5. Горбенко, А.Г. Применение диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) в холодильных технологиях / Г.А. Горбенко, И.В. Чайка, П.Г. Гакал, Р.Ю. Турна // *Технические газы*. – 2011. – С. 4.

6. Способы использования диоксида углерода в агропромышленном комплексе: Обзорная информация. — М.: Агроконсалт, 2005. — 48 с.

7. Neverov, E.N. To the Question of Disposal and Recycling Carbon Dioxide / E.N. Neverov, I.A. Korotkiy, P.S. Korotkih [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, – City of Vladivostok, 2021. – P. 012042.

8. Alenezi, A. Thermodynamic analysis of  $\text{CO}_2$  Allam cycle for concentrated solar power complemented with oxycombustion / A. Alenezi, J.S. Kapat, // *In Proceedings of AIAA Propulsion and Energy Forum, Indianapolis, Indiana, USA, 2019.*

9. Polezhaev, I.L. Normal flame propagation speed and analysis on it / I.L. Polezhaev // *Thermophysics of high temperatures*, 2005, Vol. 43. Pp. 993 – 942.

10. Пат. 2748710 Российская Федерация, МПК F25J 1/00, F25C 1/22. Аппарат для производства твердого диоксида углерода / Неверов Е.Н, Короткий И.А., Плотников И.Б., Плотников К.Б., Мокрушин М.Ю.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КемГУ». – № 2020110428; заявл.11.03.2020; опубл. 31.05.2021. – Бюл. №16.

11. Буянов, О.Н. Исследование работы генератора-дозатора снегообразного диоксида углерода / О.Н. Буянов, А.А. Горохов, Е.Н. Неверов // *Вестник Международной академии холода*. – 2005. – № 4. – С. 20–21.

12. Neverov, E. N. Studying the sublimation of carbon dioxide / E. N. Neverov, I. A. Korotkiy, E. V. Korotkaya, A. N. Rasshchepkin // *Periodico Tche Quimica*. 2021. V. 18. № 37. P. 1-12.

13. Пат. 2748361 Российская Федерация, МПК A23P 10/28. Способ получения таблетированных инстантированных продуктов / Неверов Е.Н, Короткий И.А., Плотников И.Б., Плотников К.Б., Котлярова А.А., Калуга Е.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КемГУ». – № 2020119275; заявл. 3.06. фф,6.2020; опубл. 24.05.2021. – Бюл. №15.

14. Неверов, Е. Н. Исследование параметров процесса теплообмена при сублимации диоксида углерода / Е. Н. Неверов, И. А. Короткий, И. Б. Плотников, П. С. Коротких, А. А. Кожаев // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 6. С. 215-220.

15. Иодис, В.А. Техничко-экономический анализ промышленных установок для производства сухого льда / В.А. Иодис, И.П. Сарайкина, Д.А. Шмелев // *Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития* – 2022. – С. 97-100.

16. Иодис, В.А. Проектирование схемы установки получения твердого диоксида углерода / В.А. Иодис, И.П. Сарайкина, А.А. Акжигитов // *Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития* – 2022. – С. 93-96.

17. Смородин, А.И. Оптимизация гранулятора сухого льда с энергетической рекуперацией сжатого газообразного  $\text{CO}_2$  / А.И. Смородин, А.И. Гимадеев // *Холодильная и криогенная техника*,



системы кондиционирования и жизнеобеспечения – 2020. – С. 266-273.

18. Короткий, И. А. Энергетическая эффективность низкотемпературных систем / И. А. Короткий, А. Н. Расщепкин // Молочная промышленность. – 2023. – № 2. – С. 54-57.

19 Неверов, Е.Н. Исследование процесса охлаждения диоксидом углерода тушек кролика в процессе транспортировки / Е.Н. Неверов; П.С. Коротких; А.Н. Гринюк; М.Ю. Мокрушин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 5 (211). С. 111-121.

**Вклад авторов:**

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### References

1. Vasiliev, I.V., Analysis of the areas of effective use of carbon dioxide and gas mixtures based on it / I.V. Vasiliev, I.V. Levin, A.N. Efimov, V.N. Utkin // *Technical gases*. – No. 4 – 2007. – pp. 51-58.
2. Neverov, E.N. Promising directions of decarbonization of industrial production with a high component of the carbon footprint in manufactured products / E.N. Neverov, I.A. Korotkiy, P.S. Korotkiy, N.S. Golubeva // *Polzunovsky vestnik*. – 2022. – No. 4. – Vol.2. – pp. 54-65.
3. Jun Wang. Thermodynamic properties for carbon dioxide / Jun Wang, Chun-Sheng Jia, Chang-Jun Li, Xiao-Long Peng, Lie-Hui Zhang, Jian-Yi Liu // *Acs Omega*. – 2019. –Vol. 4. – P. 19193 – 19198.
4. Arshad, M.S. Quantification of carbon dioxide released from effervescent granules as a predictor of formulation quality using modified Chittick apparatus / M.S. Arshad, K. Sedhain, A. Hussain// *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. – 2019. –Vol. 18 (3). – P. 449 – 458.
5. Gorbenko, A.G. The use of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in refrigeration technologies / G.A. Gorbenko, I.V. Chaika, P.G. Gakal, R.Yu. Turna // *Technical gases*. – 2011. – p. 4.
6. Methods of using carbon dioxide in the agro—industrial complex: Overview information. — M.: Agroconsult, 2005. - 48 p.
7. Neverov, E.N. To the Question of Disposal and Recycling Carbon Dioxide / E.N. Neverov, I.A. Korotkiy, P.S. Korotkih [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, – City of Vladivostok, 2021. – P. 012042.
8. Alenezi, A. Thermodynamic analysis of CO<sub>2</sub> Allam cycle for concentrated solar power complemented with oxycombustion / A. Alenezi, J.S. Kapat, // *In Proceedings of AIAA Propulsion and Energy Forum, Indianapolis, Indiana, USA, 2019*.
9. Polezhaev, I.L. Normal flame propagation speed and analysis on it / I.L. Polezhaev // *Thermophysics of high temperatures*, 2005, Vol. 43. Pp. 993 – 942.
10. Pat. 2748710 Russian Federation, IPC F25J 1/00, F25C 1/22. Apparatus for the production of solid carbon dioxide / Neverov E.N., Korotkiy I.A., Plotnikov I.B., Plotnikov K.B., Mokrushin M.Yu.; applicant and patent holder of FGBOU VO "KemGU". – No. 2020110428; application No.11.03.2020; publ. 31.05.2021. – Byul. No. 16.
11. Buyanov, O.N. Investigation of the operation of the snow-like carbon dioxide dispenser generator / O.N. Buyanov, A.A. Gorokhov, E.N. Neverov // *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. – 2005. – No. 4. – pp. 20-21.
12. Neverov, E. N. Studying the sublimation of carbon dioxide / E. N. Neverov, I. A. Korotkiy, E. V. Korotkaya, A. N. Rasshchepkin // *Periodico Tche Quimica*. 2021. V. 18. No. 37. P. 1-12.
13. Pat. 2748361 Russian Federation, IPC A23P 10/28. Method of obtaining tableted instantiated products / Neverov E.N., Korotkiy I.A., Plotnikov I.B., Plotnikov K.B., Kotlyarova A.A., Kaluga E.V.; applicant and patent holder of FGBOU VO "KemGU". – No. 2020119275; application 3.06. ff, 6.2020; publ. 24.05.2021. – Byul. No. 15.
14. Neverov, E. N. Investigation of the parameters of the heat exchange process during carbon dioxide sublimation / E. N. Neverov, I. A. Korotkiy, I. B. Plotnikov, P. S. Korotkiy, A. A. Kozhaev // *Bulletin of KrasGAU*. 2020. No. 6. pp. 215-220.
15. Iodis, V.A. Technical and economic analysis of industrial installations for the production of dry ice / V.A. Iodis, I.P. Saraikina, D.A. Shmelev // *Technical operation of water transport: problems and ways of development – 2022*. – pp. 97-100.
16. Iodis, V.A. Designing the scheme of the installation for obtaining solid carbon dioxide / V.A. Iodis, I.P. Saraikina, A.A. Akzhigitov // *Technical operation of water transport: problems and ways of development – 2022*. – pp. 93-96.
17. Smorodin, A.I. Optimization of dry ice granulator with energy recovery of compressed gaseous co<sub>2</sub> / A.I. Smorodin, A.I. Gimadeev // *Refrigeration and cryogenic equipment, air conditioning and life support systems – 2020*. – pp. 266-273.
18. Korotkiy, I.F. Energy efficiency of low temperature systems / I.A. Korotkiy, A.N. Rasshchepkin // *Dairy industry*. – 2023. – № 2. – С. 54-57.
19. Neverov, E.N. Investigation of the process of cooling rabbit carcasses with carbon dioxide during transportation / E.N. Neverov; P.S. Korotkov; A.N. Grinyuk; M.Yu. Mokrushin // *Bulletin of the Altai State*



*Agrarian University. 2022. No. 5 (211). pp. 111-121.*

*Contribution of the authors:*

*All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

#### **Информация об авторах**

**Неверов Евгений Николаевич**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет, [neverov42@mail.ru](mailto:neverov42@mail.ru)

**Короткий Игорь Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой теплохладотехники, Кемеровский государственный университет, [krot69@mail.ru](mailto:krot69@mail.ru)

**Ворошилин Роман Алексеевич**, канд. техн. наук., доцент кафедры технологии продуктов питания животного происхождения, Кемеровский государственный университет, [rom.vr.22@mail.ru](mailto:rom.vr.22@mail.ru)

**Гринюк Алексей Николаевич**, аспирант, ассистент кафедры техносферной безопасности, Кемеровский государственный университет, [jettastream@inbox.ru](mailto:jettastream@inbox.ru)

#### **Author information**

**Neverov Evgeny N.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technosphere Security, Kemerovo State University, [neverov42@mail.ru](mailto:neverov42@mail.ru)

**Kortkiy Igor A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Heat and Cooling Engineering, Kemerovo State University, [krot69@mail.ru](mailto:krot69@mail.ru)

**Voroshilin Roman A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology of Animal Origin, Kemerovo State University, [rom.vr.22@mail.ru](mailto:rom.vr.22@mail.ru)

**Grinyuk Alexey N.**, postgraduate student, Assistant of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, [jettastream@inbox.ru](mailto:jettastream@inbox.ru)

Статья поступила в редакцию 27.08.2023; одобрена после рецензирования 06.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 27.08.2023; approved after reviewing 06.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 629.3.014.2:621.3  
DOI 10.36508/RSATU.2023.67.89.019

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТАЦИИ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ  
К ЗОНАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Андрей Петрович Панчишкин** <sup>1✉</sup>, **Дмитрий Сергеевич Гапич** <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Россия

<sup>1</sup> panchishckin2011@yandex.ru

<sup>2</sup> gds-08@mail.ru

**Аннотация**

**Проблема и цель.** Целью настоящего исследования было выявление характеристик нагружения трактора в составе МТА крюковым усилием, которое оказывает существенное влияние на тягово-цепные показатели трактора.

**Методология.** Научный опыт проводился на опытных полях УНЦП «Горная поляна» Волгоградского ГАУ. В качестве объектов исследования использовался трактор с колесной формулой 4К4, относящийся ко второму тяговому классу (20кН), Zetor ANT-4135F. Экспериментальная часть выполнялась на двух почвенных фонах – стерня озимых культур и паровое поле. Как результат экспериментальных исследований трактора Zetor ANT-4135F, регистрировались значения силовых и кинематических параметров.

**Результаты.** В результате исследования, направленного на изучение эффективности адаптации колесных тракторов к зональным условиям эксплуатации, были получены динамические характеристики крюкового усилия трактора, а также спектральный анализ крюкового усилия трактора в составе МТА.

**Заключение.** Результаты исследования позволили определить взаимосвязь между увеличением действительной скорости трактора и увеличением крюкового усилия. Величина прироста крюкового усилия определяется не только скоростным режимом МТА и силовой нагруженностью трактора, но и физико-механическими характеристиками почвенного фона.

**Ключевые слова:** трактор, буксование, тяговые характеристики, крюковое усилие, скоростные режимы

**Для цитирования:** Панчишкин А.П., Гапич, Д. С. Оценка эффективности адаптации колесных тракторов к зональным условиям эксплуатации // Вестник Рязанского государственного агро-технологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т.15, №.3, С. 141-145 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.67.89.019>

Original article

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF ADAPTATION OF WHEELED TRACTORS  
TO ZONE OPERATION CONDITIONS**

**Andrey P. Panchishkin** <sup>1✉</sup>, **Dmitry S. Gapich** <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

<sup>1</sup> panchishckin2011@yandex.ru

<sup>2</sup> gds-08@mail.ru

**Abstract**

**Problem and purpose.** The purpose of this study was to identify the characteristics of loading the tractor as part of the MTA by the hook force, which has a significant impact on the traction performance of the tractor.

**Methodology.** The scientific experiment was carried out on the experimental fields of the territory of the UNCP "Gornaya Polyana" of the Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia. As objects of study, a tractor with a wheel formula 4K4, belonging to the second traction class (20 kN), Zetor ANT-4135F, was used. The experimental part was carried out on two soil backgrounds - stubble of winter crops and a fallow field. The results of experimental studies of the Zetor ANT-4135F tractor were recorded values of power and kinematic parameters.



**Results.** As a result of the study aimed at studying the efficiency of adaptation of wheeled tractors to zonal operating conditions, the dynamic characteristics of the tractor hook force, as well as the spectral analysis of the tractor hook force as part of the MTA, were obtained.

**Conclusion.** The results of the study made it possible to determine the relationship between the increase in the actual speed of the tractor and the increase in hook force. The magnitude of the increase in hook force is determined not only by the speed mode of the MTA and the power load of the tractor, but also by the physical and mechanical characteristics of the soil background.

**Key words:** tractor, slipping, traction characteristics, hook force, speed modes

**For citation:** Panchishkin A. P., Gapich, D. S. Evaluation of the efficiency of adaptation of wheeled tractors to zone operation conditions // Herald of Ryazan State Agrotechnical University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 3, P. 141-145 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.67.89.019>

### Введение

В настоящее время в сельскохозяйственное производство внедряются трактора тягово-энергетической концепции. Связано это, как правило, с применением комбинированных агрегатов, способных за один проход выполнять несколько технологических операций, а также с увеличением диапазона рабочих скоростей движения агрегатов, предназначенных для ресурсосберегающих технологий. Такие энергетические средства, помимо мощности двигателя, реализуемой через ходовую систему, имеют запас мощности двигателя, которую можно реализовать через вал отбора мощности. Появление избытка мощности двигателя, в случае использования трактора только в тяговом варианте, недопустимо для классической тяговой концепции. В реальных условиях эксплуатации недоиспользование мощности двигателя трактора может достигать до 20 %, а перерасход топлива – до 30 %. Кроме того, динамические нагрузки, действующие на трактор в процессе выполнения технологической операции, снижают его тяговые возможности, и, как следствие, приводят к превышению экологических ограничительных порогов при установлении номинального режима работы

МТА.

Поэтому обоснование основных положений и условий оптимизации параметров и режимов работы тракторов тягово-энергетической концепции в составе почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения является актуальным и перспективным направлением экономики топливно-энергетических ресурсов.

### Материалы и методы исследования

Научный опыт проводился на опытных полях территории УНЦП «Горная поляна» Волгоградского ГАУ. В качестве объектов исследования использовался трактор с колесной формулой 4К4, относящийся ко второму тяговому классу (20кН), Zetor ANT-4135F. Экспериментальная часть выполнялась на двух почвенных фонах – стерня озимых культур и паровое поле.

Объект исследования агрегатировался с двумя почвообрабатывающими орудиями: плуг ПОН 4; культиватор КПП-8МУ.

В результате экспериментальных исследований работы трактора Zetor ANT-4135F регистрировались значения силовых и кинематических параметров, перечень которых представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Регистрируемые силовые и кинематические параметры трактора Zetor ANT-4135F

№	Измеряемый параметр	Тип датчика	Место установки	Погрешность измерений
1	Горизонтальная нагрузка на балки переднего моста	Тензодатчики	Горизонтальные стенки рукавов полуосей	+/- 2,5 %.
2	Теоретическая скорость движения трактора	Электрический выключатель	Ступица передней и задней полуоси трактора	+/- 2,0 %.
3	Действительная скорость движения трактора	Геркон	Пятое колесо	+/- 2,0 %.
4	Сопротивление почвообрабатывающего орудия (крюковая нагрузка)	Тензодатчики, тензометрическое звено	Навеска, прицепное устройство	+/- 2,5 %.
5	Ускорение центра масс трактора	Акселерометр	Центр масс трактора	+/- 2,0 %.

Измеряемые в процессе эксперимента параметры непрерывно регистрировались в виде осциллограмм.

### Результаты исследований и их обсуждение

Проводимое математическое моделирование процесса буксования трактора с колесной формулой 4К4 показало, что случайный характер нагружения трактора в составе МТА крюковым усилием [1,2,3] оказывает существенное влияние на тягово-сцепные показатели трактора. Изменение значения номинального коэффициента буксования трактора зависит как от увеличения среднего значения крюкового усилия за счет его динамической

составляющей, так и от значения частоты его колебаний. Можно предположить, что интегральное воздействие данных параметров будет приводить к разбросу коэффициента буксования по условной области, ограниченной кривой буксования, полученной при нагружении трактора постоянным усилием, и кривой буксования, определяемой минимальным значением коэффициента внутреннего трения почвы. Для определения границ указанной области следует провести оценку динамичности



процесса нагружения трактора крюковым усилием по двум вышеназванным характеристикам.

### Динамические характеристики крюкового усилия трактора

К основным количественным параметрам, характеризующим динамичность процесса нагружения трактора крюковым усилием [4,5], относятся: динамическая составляющая крюкового усилия; господствующая частота колебаний крюкового усилия.

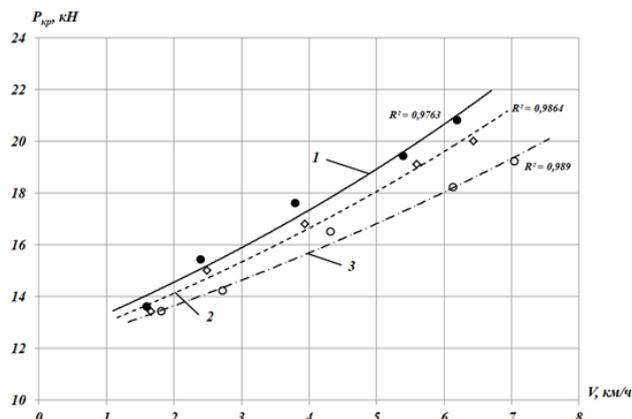
Под динамической составляющей крюкового усилия понимается разность средних значений крюковых усилий, полученных в результате тяговых испытаний трактора при движении на скоростях до 2 км/ч и скоростях, обусловленных соответствующим технологическим процессом обработки почвы. Для получения данного параметра необходимо проследить изменение среднего значения крюкового усилия трактора при увеличении скорости движения [6,7]. Обработка экспериментальных осциллограмм позволила получить графические зависимости, наглядно иллюстрирующие изменение данного параметра (рис. 1).

Анализ данных графических зависимостей показывает, что при увеличении скорости движения трактора в составе МТА происходит прирост среднего значения крюкового усилия трактора. Величина прироста, согласно теории стабилизации режимов нагружения машинно-тракторных агрегатов, определяет величину динамической составляющей крюкового усилия. Прирост крюкового усилия обуславливается не только повышением энергетического уровня выполняемой операции при увеличении скорости движения, но и интенсификацией продольно-угловых колебаний трактора,

приводящих к усилению колебаний нагрузки на крюке. Этим можно объяснить зависимость величины динамической составляющей от эксплуатационной массы трактора. Так, при эксплуатационной массе трактора 4800 кг (масса трактора без балласта) среднее значение крюкового усилия при статическом режиме нагружения (действительная скорость движения до 2 км/ч) составило 13,6 кН.

При увеличении скорости движения от 1,6 до 6,2 км/ч среднее значение крюкового усилия увеличилось до 20,8 кН (кривая 1), таким образом, общий прирост крюкового усилия трактора составил 7,2 кН. При эксплуатационной массе трактора 5400 кг (масса трактора с балластом на переднюю ось 300 кг, на заднюю ось 300 кг) среднее значение крюкового усилия при статическом режиме нагружения составило 13,4 кН. При увеличении скорости движения от 1,66 до 6,43 км/ч среднее значение крюкового усилия увеличилось до 20 кН (кривая 2), общий прирост крюкового усилия трактора составил 6,6 кН. При эксплуатационной массе трактора 5780 кг (масса трактора с балластом на переднюю ось 500 кг, на заднюю ось 480 кг) среднее значение крюкового усилия при статическом режиме нагружения составило 13,4 кН. При увеличении скорости движения от 1,82 до 7,05 км/ч среднее значение крюкового усилия увеличилось до 20 кН (кривая 3), общий прирост крюкового усилия трактора составил 5,8 кН.

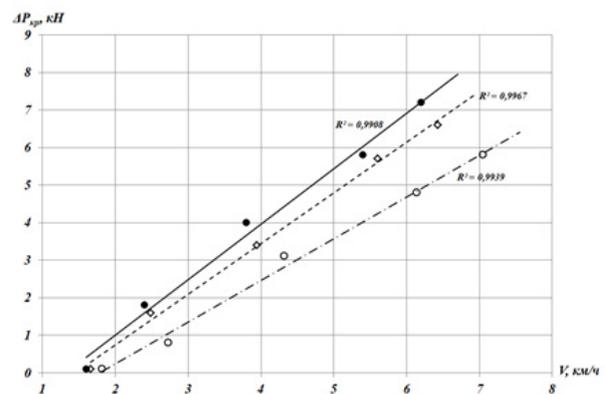
Более наглядно изменение динамической составляющей крюкового усилия от действительной скорости движения трактора, при различных значениях его эксплуатационной массы, представлено на рис. 2.



1 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 4800кг; 2 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 5400кг; 3 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 5780кг. Фон – стерня озимых культур  
Рис. 1 – Зависимость крюкового усилия трактора от действительной скорости движения

1 - change in the hook force with the operating weight of the tractor 4800 kg; 2 - change in hook force with the operating weight of the tractor 5400 kg; 3 - change in hook force with the operating weight of the tractor 5780kg. The background is the stubble of winter crops

Fig. 1 – Dependence of the hook force of the tractor on the actual speed of movement



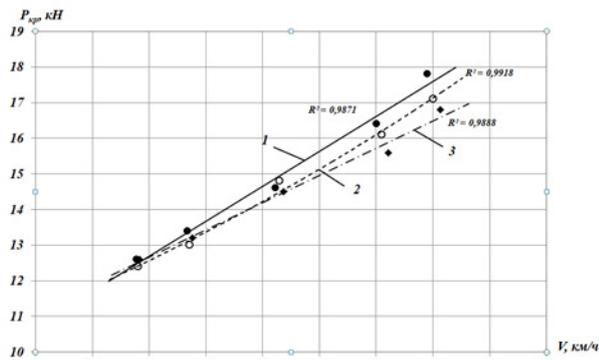
1 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 4800кг; 2 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 5400кг; 3 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 5780кг. Фон – стерня озимых культур  
Рис. 2 – Зависимость динамической составляющей крюкового усилия трактора от действительной скорости движения

1 - change in the hook force with the operating weight of the tractor 4800 kg; 2 - change in hook force with the operating weight of the tractor 5400 kg; 3 - change in hook force with the operating weight of the tractor 5780kg. The background is the stubble of winter crops

Fig. 2 – Dependence of the dynamic component of the hook force of the tractor on the actual speed of movement



При работе на почвенном фоне – пар, также отмечено увеличение среднего значения крюкового усилия трактора при росте скорости движения (рисунки 3,4). Следует обратить внимание на менее интенсивный прирост данного показателя. Объяснить это можно другими упругими и физико-механическими характеристиками почвенного фона, которые вполне могут обеспечивать более стабильное движение машинно-тракторного агрегата.



1 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 4800кг; 2 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 5400кг; 3 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 5780кг. Фон – пар

Рис. 3 – Зависимость крюкового усилия трактора от действительной скорости движения

1 - change in the hook force with the operating weight of the tractor 4800 kg; 2 - change in hook force with the operating weight of the tractor 5400 kg; 3 - change in hook force with the operating weight of the tractor 5780kg.

Background - steam

Fig. 3 - Dependence of the hook force of the tractor on the actual speed of movement

### Заключение

Основные выводы, которые можно сделать из приведенного анализа:

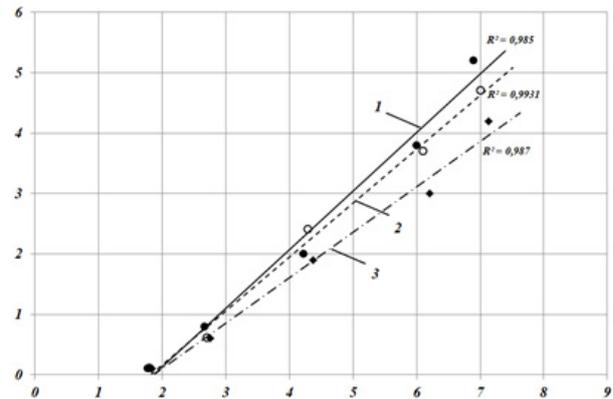
1. С увеличением действительной скорости трактора следует ожидать увеличения крюкового усилия. Величина прироста крюкового усилия определяется не только скоростным режимом МТА и силовой нагруженностью трактора, но и физико-механическими характеристиками почвенного фона.

2. Масса трактора оказывает существенное влияние на величину динамической составляющей крюкового усилия, связано это со снижением интенсивности продольно-угловых колебаний трактора при работе в составе МТА, что приводит к меньшим амплитудам колебаний крюкового усилия.

### Список источников

1. Агапов, А. Н. Динамика перераспределения тяговых нагрузок в комбинированном агрегате / А. Н. Агапов, А. А. Ногтиков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 11. – С. 22.

2. Гапич, Д. С. Проблемы установления допу-



1 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 4800кг; 2 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 5400кг; 3 – изменение крюкового усилия при эксплуатационной массе трактора 5780кг. Фон – пар

Рис. 4 – Зависимость динамической составляющей крюкового усилия трактора от действительной скорости движения

1 - change in the hook force with the operating weight of the tractor 4800 kg; 2 - change in hook force with the operating weight of the tractor 5400 kg; 3 - change in hook force with the operating weight of the tractor 5780kg.

Background - steam

Fig. 4 - Dependence of the dynamic component of the hook force of the tractor on the actual speed of movement

стимых режимов работы колесных тракторов в составе МТА в орошаемом земледелии / Д. С. Гапич // Региональные проблемы народного хозяйства: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Раздел Перспективы и совершенствования инженерной службы. Ульяновск., 2004. – С. 255-258.

3. Косульников, Р. А. Основы технологической адаптации сельскохозяйственных тракторов / Р. А. Косульников, А. П. Панчишкин // Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий. Материалы Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию Победы в Великой отечественной войне 1941-1945 гг.. Волгоград. – 2020. – С. 239-244.

4. Кузнецов, Н. Г. Динамика процесса буксования колесного трактора кл. 1,4 / Н. Г. Кузнецов, Д. С. Гапич, Е. В. Ширяева // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 12. – С. 23-25.

5. Кузнецов, Н. Г. Методические рекомендации по энергетической оценке машинно-трак-



торных агрегатов / Н. Г. Кузнецов, Г. В. Шульц.— Волгоград: Волгоградский сельскохозяйственный институт, 1987.

6. Кузнецов, Н. Г. Особенности прогнозирования тягово-сцепных свойств колесных с.-х. тракторов / Н. Г. Кузнецов, Д. С. Гапич, Е. В. Ширяева // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 11. – С. 19-21.

7. Кузнецов, Н. Г. Теория тягового баланса энергонасыщенных колёсных тракторов при работе на тяжёлых почвах засушливых зон: учебное пособие / Н. Г. Кузнецов. — Волгоград: Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия, 2004. – 140с.

*Вклад авторов:*

*Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

#### References

1. Agapov, A. N. *Dinamika pereraspredeleniya tyagovykh nagruzok v kombinirovannom agregate* / A. N. Agapov, A. A. Nogtikov // *Traktory i sel'skohozyajstvennyye mashiny*. – 2004. – № 11. – С. 22.

2. Gapich, D. S. *Problemy ustanovleniya dopustimyykh rezhimov raboty kolesnykh traktorov v sostave MTA v oroshaemom zemledelii* / D. S. Gapich // *Regional'nye problemy narodnogo hozyajstva: materialy Vserojssijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodykh uchenykh. Razdel Perspektivy i sovershenstvovaniya inzhenernoj sluzhby. Ul'yanovsk.*, 2004. – С. 255-258.

3. Kosul'nikov, R. A. *Osnovy tekhnologicheskoy adaptacii sel'skohozyajstvennykh traktorov* / R. A. Kosul'nikov, A. P. Panchishkin // *Optimizaciya sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya i usilenie eksportnogo potentsiala APK RF na osnove konvergentnykh tekhnologij. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, provedennoj v ramkah Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma, posvyashchennogo 75-letiyu Pobedy v Velikoj otechestvennoj vojne 1941-1945 gg.*. Volgograd. – 2020. – С. 239-244.

4. Kuznecov, N. G. *Dinamika processa buksovaniya kolesnogo traktora kl. 1,4* / N. G. Kuznecov, D. S. Gapich, E. V. SHiryayeva // *Traktory i sel'hozmashiny*. – 2012. – № 12. – С. 23-25.

5. Kuznecov, N. G. *Metodicheskie rekomendacii po energeticheskoy ocenke mashinno-traktornykh agregatov* / N. G. Kuznecov, G. V. SHul'c.— Volgograd : Volgogradskij sel'skohozyajstvennyj institut, 1987.

6. Kuznecov, N. G. *Osobennosti prognozirovaniya tyagovo-scepnnykh svoystv kolesnykh s.-h. traktorov* / N. G. Kuznecov, D. S. Gapich, E. V. SHiryayeva // *Traktory i sel'hozmashiny*. – 2013. – № 11. – С. 19-21.

7. Kuznecov, N. G. *Teoriya tyagovogo balansa energonasyshchennykh kolyosnykh traktorov pri rabote na tyazhyolykh pochvakh zasushlivykh zon: uchebnoe posobie* / N. G. Kuznecov. — Volgograd: Volgogradskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2004. – 140s.

*Contribution of the authors:*

*All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

#### Информация об авторах

**Панчишкин Андрей Петрович**, ст. преп. кафедры «Электроснабжение и энергетические системы», Волгоградский государственный аграрный университет, panchishckin2011@yandex.ru

**Гапич Дмитрий Сергеевич**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электроснабжение и энергетические системы», Волгоградский государственный аграрный университет, gds-08@mail.ru

#### Author information

**Panchishkin Andrey P.**, Senior Lecturer, Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University, panchishckin2011@yandex.ru

**Gapich Dmitry S.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University, gds-08@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.08.2023; одобрена после рецензирования 06.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 29.08.2023; approved after reviewing 06.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 631.356.46  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.25.94.020**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЕПАРАЦИИ ПЛАСТА НА ЭЛЕВАТОРЕ С ИНТЕНСИФИКАТОРОМ  
КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН****Иван Алексеевич Успенский<sup>1</sup>✉, Парвиз Имранович Гаджиев<sup>2</sup>, Имран Парвизович Гаджиев<sup>3</sup>,  
Гюльбике Гудретдиновна Рамазанова<sup>4</sup>**<sup>1</sup> Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г.Рязань, Россия<sup>2,3,4</sup> Российский государственный университет народного хозяйства имени В.И. Вернадского, г. Балашиха, Россия<sup>1</sup> i.van.uspensckij@yandex.ru<sup>2</sup> pgadjiev@yandex.ru<sup>3</sup> mgadjiev@mail.ru<sup>4</sup> gulbike@yandex.ru**Аннотация.**

**Проблема и цель.** При проектировании картофелеуборочных машин важно знать энергоемкость каждого рабочего органа, чтобы оценить эффективность принятых инженерных решений. Цель исследования – произвести энергетический расчет сепарации пласта на элеваторе с интенсификатором картофелеуборочных машин.

**Методология.** Объект исследования – рабочий орган картофелеуборочного комбайна КПК-2-01 с интенсификатором сепарации. Сделаны допущения, что: 1) комбайн движется с постоянной скоростью по плоской горизонтальной поверхности; 2) величина скорости частицы почвенного пласта на полотне элеватора относительно комбайна во время движения и в момент схода с полотна элеватора постоянна и равна скорости точки прутка рабочей ветви; 3) движение пласта почвы с клубнями на полотне элеватора при постоянной подаче с лемеха является установившимся, и масса клубненого пласта на полотне элеватора постоянна. Затраты энергии на транспортирование и сепарацию почвенного пласта на элеваторе и соответствующая мощность  $P$  распределяются на ходовую часть и привод элеватора. Рассчитан баланс мощностей сил, выполняющих работу транспортирования и сепарирования почвенного пласта на полотне элеватора.

**Результаты.** При увеличении полноты сепарации и снижении доли примесей в конце полотна элеватора работа и мощность внешних сил могут снижаться, поскольку часть примесей, на подъем которых по элеватору затрачивалась энергия, отсеиваются через зазоры между прутками на низкой высоте и, кроме того, опускаясь на ленте транспортера, возвращают часть затраченной на их подъем энергии, передавая ее приводу интенсификатора. Расчеты мощности внешних сил показали, что снижение доли примесей на выходе с 15 % до 14 % за счет интенсификатора сепарации не приводит к увеличению мощности. С увеличением скорости прутка элеватора от 1 м/с до 1,8 м/с при подаче на лемех и при элеваторемассе 242 кг/с и полноте сепарации 85 % мощность действующих на пласт на элеваторе внешних сил без учета внешнего и внутреннего трения увеличивается примерно на 8 % или с 1,52 до 1,64 кВт.

**Заключение.** При постоянной высоте элеватора 693 мм уменьшение угла наклона полотна элеватора к горизонту от 22° до 19° с соответственным увеличением длины полотна элеватора не влияет существенно на мощность внешних сил. Применение интенсификатора сепарации при снижении доли примесей с 0,15 до 0,14 приводит к незначительному, не превышающему 4 %, увеличению мощности действующих на пласт внешних сил без учета сил трения.

**Ключевые слова:** интенсификатор, сепарация почвы, мощность, картофелеуборочные машины, энергетический расчет

**Для цитирования:** Успенский И.А., Гаджиев П.И., Гаджиев И.П., Рамазанова Г.Г. Энергетический расчет сепарации пласта на элеваторе с интенсификатором картофелеуборочных машин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т.15, №3. С 146-153 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.25.94.020>



Original article

**ENERGY CALCULATION OF FORMATION SEPARATION AT AN ELEVATOR WITH AN INTENSIFIER OF POTATO HARVESTERS**Ivan A. Uspenskiy<sup>1</sup>✉, Parviz I. Gadzhiev<sup>2</sup>, Imran P. Gadzhiev<sup>3</sup>, Gulbike G. Ramazanova<sup>4</sup><sup>1</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia<sup>2,3,4</sup> Russian State University of National Economy named after V.I. Vernadsky, Balashiha, Russia<sup>1</sup> ivan.uspensckij@yandex.ru<sup>2</sup> pgadjiev@yandex.ru<sup>3</sup> imgadjiev@mail.ru<sup>4</sup> gulbike@yandex.ru**Abstract.**

**Problem and purpose.** When designing potato harvesters, it is important to know the energy intensity of each working element in order to evaluate the effectiveness of the engineering solutions taken. The purpose of the study was to make an energy calculation of the separation of the reservoir at the elevator with an intensifier of potato harvesters.

**Methodology.** The object of study is the working body of the KPK-2-01 potato harvester with a separation intensifier. Having made the assumptions that: 1) the harvester moves at a constant speed on a flat horizontal surface; 2) the value of the speed of a particle of the soil layer on the elevator canvas relative to the combine during movement and at the moment of leaving the elevator canvas is constant and equal to the speed of the point of the bar of the working branch; 3) the movement of the soil layer with tubers on the elevator canvas at a constant supply from the plowshare is steady, and the mass of the tuberous layer on the elevator canvas is constant. The energy costs for transporting and separating the soil layer on the elevator and the corresponding power  $P$  are distributed to the chassis and drive of the elevator. The power balance of the forces performing the work of transporting and separating the soil layer on the elevator canvas was calculated.

**Results.** With an increase in the completeness of separation and a decrease in the proportion of impurities at the end of the elevator web, the work and power of external forces may decrease, since part of the impurities, which took energy to lift along the elevator, are screened out through the gaps between the bars at a low height and, moreover, descending on the conveyor belt, they return a part of the energy spent on their rise, transferring it to the intensifier drive. Calculations of the power of external forces showed that the reduction in the proportion of impurities at the outlet from 15 % to 14 % due to the separation intensifier does not lead to an increase in power. With an increase in the speed of the elevator bar from 1 m/s to 1.8 m/s with a feed rate of 242 kg/s to the plowshare and the elevator and a separation completeness of 85%, the power of the external forces acting on the formation on the elevator without taking into account external and internal friction  $k$  increases by approximately 8 % or from 1.52 to 1.64 kW.

**Conclusion.** With a constant elevator height of 693 mm, a decrease in the angle of inclination of the elevator web to the horizon from 22° to 19° with a corresponding increase in the length of the elevator web does not significantly affect the power of external forces. The use of a separation intensifier with a decrease in the proportion of impurities from 0.15 to 0.14 leads to a slight, not exceeding 4 %, increase in the power of external forces acting on the formation without friction forces.

**Key words:** intensifier, soil separation, power, potato harvesters, energy calculation.

**For citation:** Uspenskiy I.A., Gadzhiev P.I., Gadzhiev I.P., Ramazanova G.G. Energy calculation of formation separation at an elevator with an intensifier of potato harvesters // Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 3, P.146-153 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.25.94.020>

**Введение**

При решениях новых инженерных задач по проектированию картофелеуборочных машин очень важно знать энергоёмкость каждого рабочего органа, что позволит оценить значимость эффективности решений и с точки зрения экономики [1-3].

В нашем случае мощность, потребляемая основным элеватором с интенсификатором, затрачивается на работу транспортирования и сепарирования почвенного пласта на полотне элеватора. Картофелеуборочный комбайн KPK-2-01, оснащённый интенсификатором сепарации почвенного пласта, применялся при уборке картофеля, посаженного четырёхрядной картофелесажалкой рядовым способом на выщелоченных чернозем-

ных почвах [4-6]. Фактическая выработка картофелеуборочного комбайна KPK-2-01 в хозяйственных условиях – 15 гектаров течение 8 дней, скорость движения комбайна составляла 0,86 м/с, влажность почвы 26,3 % [7,8].

Цель исследования – произвести энергетический расчет сепарации пласта на элеваторесинтенсификатором картофелеуборочных машин.

**Материалы и методы**

Для этого оценим баланс мощности сил, выполняющих работу транспортирования и сепарирования почвенного пласта на полотне элеватора. Введем следующие дополнительные обозначения (рис.1):

$O\xi\eta$  – неподвижная прямоугольная декартова



система координат с горизонтальной осью  $O\xi$ , направленной противоположно скорости движения центра инерции рамы комбайна, и вертикальной осью  $O\eta$ , направленной вверх;

$h_0$  – толщина пластана полотне элеватора на входе с лемеха, м;

$P$  – мощность внешних сил, действующих на частицы пласта на полотне элеватора без учета внутренних сил, Вт.

Будем считать, что

- 1) комбайн движется с постоянной скоростью по плоской горизонтальной поверхности;
- 2) величина скорости частицы почвенного пла-

ста на полотне элеватора относительно комбайна во время движения и в момент схода с полотна элеватора постоянна и равна скорости точки прутка рабочей ветви;

3) движение пласта почвы с клубнями на полотне элеватора при постоянной подаче с лемеха является установившимся, и масса клубненого пласта на полотне элеватора постоянна.

Затраты энергии на транспортирование и сепарацию почвенного пласта на элеваторе и соответствующая мощность  $P$  распределяются на ходовую часть и привод элеватора.

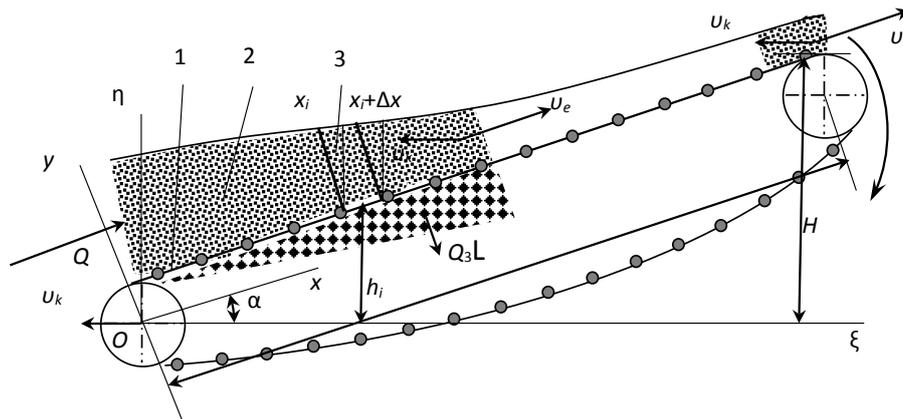


Рис.1 – К расчету мощности сил транспортирования и сепарации пласта на полотне элеватора:

- 1 – полотно элеватора; 2 – пласт почвы с клубнями; 3 – элемент пласта на участке полотна с координатами концов  $x_i$  и  $(x_i+\Delta x)$  по оси  $Ox$

1 – elevator canvas; 2 – soil layer with tubers; 3 – formation element on the section of the sheet with the coordinates of the ends  $x_i$  and  $(x_i+\Delta x)$  along the  $Ox$  axis

Fig.1 –To the calculation of the power of the forces of transportation and separation of the reservoir ont heelevator canvas

Пусть  $t$  – некоторый длительный промежуток времени установившегося движения комбайна с постоянной скоростью. За это время частицы подкорманного лемехом пласта массы  $M$ , поступившие на элеватор, приобретут некоторую скорость при сходе с элеватора и поднимутся на некоторую высоту. Очевидно,

$$M = M_1 + M_2, \quad (1)$$

где  $M_1$  – масса частиц, поданных элеватором на следующий рабочий орган за время  $t$ ;

$M_2$  – масса отсепарированных на элеваторе частиц за время  $t$ .

В соответствии с принятыми обозначениями  $M_1 = [Q - Q_3(L)]t$ ;  $M_2 = Q_3(L)t$ ;  $M = Qt$ . (2)

где  $Q$  – подача клубненого почвенного пласта, подрезанного лемехом без учета ботвы, кг/с;

$Q_3$  – подача примесей, частицы которого отсепарированы на участке полотна перед данным сечением (зависит от  $x$ ), кг/с;

$L$  – длина верхней ветви полотна элеватора без учета прогиба.

При сходе с полотна элеватора в системе координат  $Oxy$ , связанной с рамой комбайна, частицы пласта имеют скорость  $u_e$ . При этом в системе координат  $O\xi\eta$  с осью  $O\xi$  в горизонтальной плоскости, проходящей через нижнюю часть полотна, частицы не отсепарированной части пласта перед

сходом с полотна поднимаются на высоту  $H$  элеватора, а частицы отсепарированной части пласта перед сходом с полотна поднимаются на высоту, зависящую от координаты  $x$  схода частицы с полотна.

Разделим пласт на полотне элеватора на  $n$  областей длиной  $\Delta x$  по оси  $Ox$ . По определению,

$$\Delta x = L/n.$$

В системе координат  $Oxy$  координата  $x_i$  граничной точки области пласта с номером  $i$  вдоль оси  $Ox$  определяется так: (3)

$$x_i = i\Delta x,$$

где  $i$  – целое число,  $0 \leq i \leq n$ .

Пусть  $\Delta M_i$  – масса частиц пласта на участке полотна от  $x_{i-1}$  до  $x_i$  по оси  $Ox$  на высоте  $h_i$  подъема элеватором, отсепарированных на элеваторе за время  $t$  через зазоры. В соответствии с принятыми обозначениями

$$\Delta M_i = [Q_3(x_i) - Q_3(x_{i-1})]t, \quad (4)$$

где  $1 \leq i \leq n$ ;  $Q_3(0) = 0$ .

Перепишем последнее выражение в виде формулы Лагранжа для конечных приращений с учетом равенства (2) так:

$$\Delta M_i = \frac{dQ_3}{dx} \Delta x t, \quad (5)$$



где  $\frac{dQ_3}{dx}$  – значение производной функции  $Q_3(x)$

в точке на отрезке  $[x_{i-1}, x_i]$ .

По определению,

$$M_2 = \sum_{i=1}^n \Delta M_i \quad (6)$$

где  $M_2$  – масса отсепарированных на элеваторе частиц за время  $t$

Пусть  $A_1, A_2$  – работа сил тяжести, действующих на частицы соответственно не отсепарированной и отсепарированной частей пласта за промежутки времени движения их на полотне элеватора;  $A_3$  – работа внешних сил, действующих на частицы пласта со стороны привода элеватора и ходовой части за промежутки времени движения их на полотне элеватора;  $A_4$  – работа внутренних сил, действующих на частицы пласта со стороны других частиц за промежутки времени движения их на полотне элеватора. По определению

$$A_1 = -M_1 g H = -M_1 g L \sin \alpha; \quad (7)$$

$$A_2 \approx -\sum_{i=1}^n \Delta M_i g h_i \quad (8)$$

Или, с учетом равенств (2), (5) и выражения для  $h_i$

$$A_1 = -[Q - Q_3(L)] g t L \sin \alpha; \quad (9)$$

$$A_2 \approx -g t \sum_{i=1}^n \frac{dQ_3}{dx} \Delta x x_i \sin \alpha. \quad (10)$$

Последнее выражение позволяет оценить работу  $A_2$  сил тяжести тех частиц пласта, которые прошли в зазоры между прутками элеватора. Оно тем точнее, чем меньше длина (шаг)  $\Delta x$  области пласта по оси  $O_x$ . В соответствии со значением определенного интеграла последнее равенство является интегральной суммой и при существовании предела при бесконечном уменьшении шага может быть записано так:

$$A_2 = -g t \sin \alpha \int_0^L \frac{dQ_3}{dx} x dx \quad (11)$$

Или, после интегрирования по частям

$$A_2 = -g t \sin \alpha \left[ L Q_3(L) - \int_0^L Q_3 dx \right]. \quad (12)$$

Если для определения коэффициентов  $k_1, k_2$  заданы величины  $\rho_1, \rho_2$  удельной массы пласта на единице площади элеватора в середине и в конце, то в соответствии с формулой (12\*)

$$\varepsilon = 1 - (k_1 e^{-k_2 x} - k_2 e^{-k_1 x}) / (k_1 - k_2). \quad (12)^*$$

имеем

$$Q - Q_3(L) = p_2 v_e w. \quad (13)$$

где  $v_e$  – величина скорости точки полотна элеватора, м/с;

$w$  – рабочая ширина полотна элеватора, м.

Определяя  $Q_3(x)$  из равенства  $Q - Q_3(x) = \rho h_e v_e w$ , запишем выражение для интеграла так:

$$\int_0^L Q_3 dx = \int_0^L (Q - \rho h_e v_e w) dx = QL - v_e w \int_0^L \rho h_e dx. \quad (14)$$

где  $h_e$  – условная толщина пласта на полотне элеватора с учетом разрыхления пласта и уменьшения плотности, м.

Воспользовавшись правилом численного интегрирования Симпсона [9-11], найдем выражение для приближенной оценки полученного интеграла в следующем виде:

$$\int_0^L Q_3 dx \approx QL - v_e w \frac{L}{3} (\rho_0 h_0 + 4p_1 + p_2), \quad (15)$$

где  $h_0$  – толщина пласта на входе на элеватор, м;

$$h_0 = v_k h_k w_k / (v_e w). \quad (16)$$

где  $v_k$  – величина скорости точки лемеха комбайна, м/с;

$h_k$  – средняя толщина пласта, подрезаемого лемехом, м;

$w_k$  – ширина захвата комбайна, м.

Формула (9) с учетом равенства (14) приводит к такому виду:

$$A_1 = -p_2 v_e w g t L \sin \alpha. \quad (17)$$

Формула (12) с учетом приближенного равенства (15) записывается так:

$$A_2 \approx -g t L v_e w \sin \alpha \left[ \frac{\rho_0 h_0 + 4p_1 - 2p_2}{3} \right]. \quad (18)$$

За время движения частицы пласта на полотне элеватора кинетическая и потенциальная энергии частицы изменяются. При этом скорость каждой частицы отсепарированной и не отсепарированной частей пласта в момент схода с элеватора равны скорости точки прутка. В системе координат  $O\xi\eta$  теорему об изменении кинетической энергии частиц пласта массой  $M$  запишем в таком виде:

$$\frac{M v_2^2}{2} - \frac{M v_1^2}{2} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4, \quad (19)$$

где  $v_1$  – величина скорости частицы пласта в неподвижной системе координат при входе на полотно элеватора,

$v_2$  – величина скорости частиц в неподвижной системе координат при сходе с полотна элеватора.

$A_3$  – работа внешних сил, действующих на частицы пласта со стороны привода элеватора и ходовой части за промежутки времени движения их на полотне элеватора;

$A_4$  – работа внутренних сил, действующих на частицы пласта со стороны других частиц за промежутки времени движения их на полотне элеватора.

В соответствии с введенными предположениями



$$v_1 = 0; v_2^2 = (v_e \cos \alpha - v_k)^2 + v_e^2 \sin^2 \alpha; A_4 = 0. \quad (20)$$

Подставив в равенство (19) выражения (20) для скоростей точек и выражения (9), (10) для работы сил тяжести, перепишем его так:

$$A_3 = \frac{Qt[(v_e \cos \alpha - v_k)^2 + v_e^2 \sin^2 \alpha]}{2} + [Q - Q_3(L)]gL \sin \alpha + gt \sin \alpha [LQ_3(L) - \int_0^L Q_3 dx] \quad (21)$$

Или, после деления на множитель  $t$

$$P = \frac{Q[(v_e \cos \alpha - v_k)^2 + v_e^2 \sin^2 \alpha]}{2} + [Q - Q_3(L)]gL \sin \alpha + g \sin \alpha [LQ_3(L) - \int_0^L Q_3 dx]. \quad (22)$$

Формула для приближенной оценки мощности  $P$ , полученная после подстановки в равенство (22) выражений (13), (14), имеет такой вид:

$$P = \frac{Q[(v_e \cos \alpha - v_k)^2 + v_e^2 \sin^2 \alpha]}{2} + p_2 v_e w g L \sin \alpha + g L v_e w \sin \alpha \left[ \frac{\rho_0 h_0 + 4p_1 - 2p_2}{3} \right]. \quad (23)$$

Оценим баланс мощности сил, выполняющих работу транспортирования и сепарирования по-

чвенного пласта на полотне элеватора с интенсификатором сепарации.

Введем дополнительные обозначения (рис.2):

$P_i$  – мощность внешних сил, действующих на частицы пласта на элеваторе с интенсификатором без учета внутренних сил, Вт;

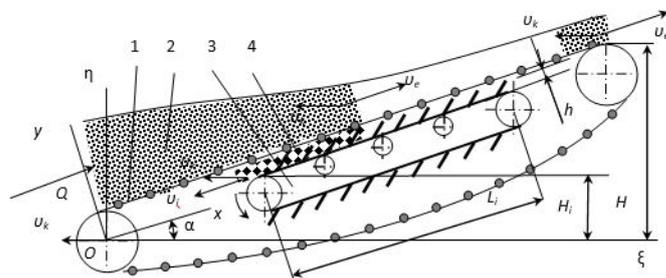
$L_i$  – длина ленты рабочей ветви транспортера интенсификатора, м;

$H_i$  – расстояние от точки схода частиц с ленты интенсификатора до поверхности поля (высота интенсификатора над поверхностью поля), м.

Будем считать, что принятые ранее допущения относительно движения пласта почвы на полотне элеватора выполняются и к ним добавляется допущение об установившемся движении отсепарированной части пласта на ленте транспортера интенсификатора сепарации.

Затраты энергии на транспортирование и сепарацию почвенного пласта на элеваторе с интенсификатором сепарации и соответствующая мощность  $P_i$  распределяются на ходовую часть, привод элеватора и привод интенсификатора.

Пусть  $t$  – некоторый длительный промежуток времени установившегося движения комбайна с постоянной скоростью. За это время частицы пласта массы  $M_3$ , отсепарированного на элеваторе и поступившего на ленту интенсификатора сепарации, обретут скорость  $u_i$  при сходе с ленты на высоте  $H_i$ .



1 – полотно элеватора; 2 – пласт почвы с клубнями; 3 – интенсификатор; 4 – отделенная часть пласта на транспортере интенсификатора сепарации  
Рис. 2 – К расчету мощности сил транспортирования и сепарации пласта на полотне элеватора с интенсификатором  
1 – the canvas of the elevator; 2 – soil layer with tubers; 3 – intensifier; 4 – separated part of the formation on the conveyor of the separation intensifier

Fig.2 – To the calculation of the power of the forces of transportation and separation of the reservoir on the canvas of the elevator with an intensifier

Примем, что масса  $M_3$  равна доле массы  $M_2$ , прямо пропорциональной отношению длин интенсификатора и элеватора, то есть справедливо такое равенство:

$$M_3 = M_2 L_i / L \quad (24)$$

или с учетом выражения (2) для  $M_2$

$$M_3 = Q_3(L)tL_i/L \quad (25)$$

где  $M_3$  – масса пласта отсепарированного на элеваторе и поступившего на ленту интенсификатора сепарации.

В системе координат  $O\xi\eta$  теорему об изменении кинетической энергии частиц пласта массой

$M$  с учетом интенсификатора сепарации и аналогичных введенным ранее обозначениях работы сил запишем в таком виде:

$$\frac{M_3 v_3^2}{2} + \frac{(M - M_3)v_2^2}{2} - \frac{Mv_1^2}{2} = A_1 + A_{2e} + A_{2i} + A_3 + A_4, \quad (26)$$

где  $v_1$  – величина скорости частицы пласта в неподвижной системе координат при входе на полотно элеватора;

$v_2$  – величина скорости частиц в неподвижной системе координат при сходе с полотна эле-



ватора;

$v_3$  – величина скорости частиц в неподвижной системе координат при сходе с ленты транспортера интенсификатора сепарации;

$A_1$  – работа сил тяжести, действующих на частицы соответственно отсепарированной и не отсепарированной частей пласта за промежутки времени движения их на полотне элеватора;

$A_{2e}, A_{2i}$  – работа сил тяжести, действующих на частицы отсепарированной части пласта, соответственно не захваченные и захваченные интенсификатором сепарации, за промежутки времени движения их соответственно на элеваторе и на ленте интенсификатора;

$A_3$  – работа внешних сил, действующих на частицы пласта;

$A_4$  – работа внутренних сил, действующих на частицы пласта со стороны других частиц за промежутки времени движения их на полотне элеватора и на ленте интенсификатора.

В соответствии с введенными предположениями

$$v_1 = 0; v_2^2 = (v_e \cos \alpha - v_k)^2 + v_e^2 \sin^2 \alpha; v_3^2 = (v_i \cos \alpha + v_k)^2 + v_i^2 \sin^2 \alpha; \quad (27)$$

$$A_{2e} = A_2(M_2 - M_3)/M_2 \quad (28)$$

или с учетом равенств (2), (12), (25),

$$A_{2e} = -gt \sin \alpha \left[ LQ_3(L) - \int_0^L Q_3 dx \right] (L - L_i)/L. \quad (29)$$

Частицы пласта массы  $M_3$ , сходят с ленты на высоте  $H_i$  над уровнем поля. Следовательно,

$$A_{2i} = -M_3 g H_i$$

или после подстановки выражения (25) для  $M_3$  с учетом выражения (2) для  $M_2$

$$A_{2i} = -Q_3(L) g t H_i L_i / L \quad (30)$$

В соответствии с принятыми допущениями работой  $A_4$  внутренних сил пренебрегаем. Подставив в равенство (26) выражение (25) массы  $M_3$  частиц, сошедших с ленты интенсификатора сепарации, а также выражения (18), (29), (30) работы  $A_1, A_{2e}, A_{2i}$  соответственно, перепишем его так:

$$A_3 = \frac{Q_3(L) t L_i v_3^2}{2L} + \frac{[Q - Q_3(L) L_i / L] t v_2^2}{2} + [Q - Q_3(L)] g H t + \frac{g t \sin \alpha [L Q_3(L) - \int_0^L Q_3 dx] (L - L_i)}{L} + \frac{Q_3(L) t g H_i L_i}{L} \quad (31)$$

или после деления на множитель  $t$

$$P_i = \frac{Q_3(L) L_i v_3^2}{2L} + \frac{[Q - Q_3(L) L_i / L] v_2^2}{2} + [Q - Q_3(L)] g H + \frac{g \sin \alpha [L Q_3(L) - \int_0^L Q_3 dx] (L - L_i)}{L} + \frac{Q_3(L) g H_i L_i}{L}. \quad (32)$$

Формула для приближенной оценки мощности  $P$ , полученная после подстановки в равенство (32) выражений (13), (14), имеет такой вид:

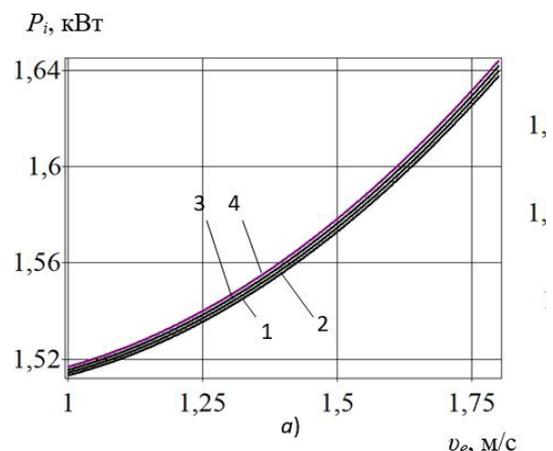
$$P_i = \frac{(Q - p_2 v_e w) L_i v_3^2}{2L} + \frac{[Q L - (Q - p_2 v_e w) L_i] v_2^2}{2L} + p_2 v_e w g L \sin \alpha + \frac{g p_2 v_e w L \sin \alpha (\rho_0 h_0 + 4p_1 - 2p_2)(L - L_i)}{3L} + \frac{(Q - p_2 v_e w) g H_i L_i}{L}. \quad (33)$$

### Результаты и обсуждение

Работа и мощность внешних сил оценивалась по изменению потенциальной и кинетической энергии частиц пласта на элеваторе и ленте транспортера интенсификатора без учета работы внешних и внутренних сил трения. Использование интенсификатора позволяет «использовать» потенциальную энергию частиц примесей, отделившихся через зазоры между прутками элеватора. Поэтому при увеличении полноты сепарации и снижении доли примесей в конце полотна элеватора работа и мощность указанных выше сил может снижаться, поскольку часть примесей, на подъем которых по элеватору затрачивалась энергия, отсеиваются через зазоры между прутками на низкой высоте и, кроме того, опускаясь на ленте транспортера, возвращают часть затраченной на их подъем энергии, передавая ее приводу интенсификатора.

Расчеты мощности внешних сил, выполненные по формулам (23), (33) показали, что снижение доли примесей на выходе с 15% до 14% за счет интенсификатора сепарации не приводит к увеличению мощности (рис. 3, а, б).

С увеличением скорости прутка элеватора от 1 м/с до 1,8 м/с при подаче на лемех и элеватор 242 кг/с и полноте сепарации 85% мощность действующих на пласт на элеваторе внешних сил без учета внешнего и внутреннего трения к увеличению примерно на 8% или с 1,52 кВт до 1,64 кВт (рис. 3, а).



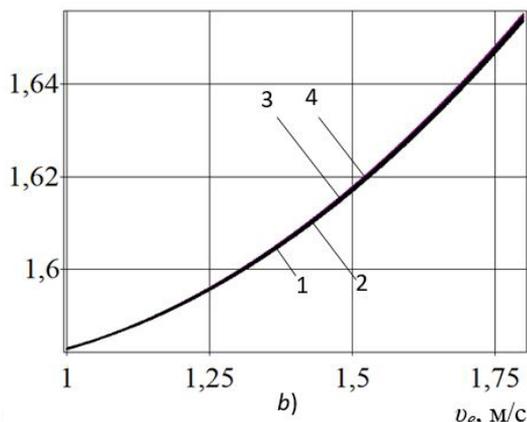


Рис.3 – Зависимости от скорости  $v_e$  прутка мощности внешних сил, действующих на пласт на элеваторе (а) и на пласт на элеваторе и транспортере интенсификатора (b) при разном угле  $\alpha$  наклона элеватора и постоянной высоте элеватора и интенсификатора: 1:  $\alpha = 19^\circ$ ; 2:  $\alpha = 20^\circ$ ; 3:  $\alpha = 21^\circ$ ; 4:  $\alpha = 22^\circ$

Fig.3 – Dependences on the speed  $v_e$  of the rod of the power of external forces acting on the formation on the elevator (a) and on the formation on the elevator and the intensifier conveyor (b) at different angle  $\alpha$  of the elevator inclination and a constant height of the elevator and the intensifier: 1:  $\alpha = 19^\circ$ ; 2:  $\alpha = 20^\circ$ ; 3:  $\alpha = 21^\circ$ ; 4:  $\alpha = 22^\circ$

### Заключение

При постоянной высоте элеватора 693 мм уменьшение угла наклона полотна элеватора к горизонту от  $22^\circ$  до  $19^\circ$  с соответственным увеличением длины полотна элеватора не влияет существенно на мощность внешних сил.

Применение интенсификатора сепарации при снижении доли примесей с 0,15 до 0,14 приводит к незначительному, не превышающему 4%, увеличению мощности действующих на пласт внешних сил без учета сил трения.

### Список источников

1. Бышов Н.В. Перспективы картофелеводства в Рязанском АПК / Н.В. Бышов, С.Н. Бoryчев, Г.К. Рембалович, А.А. Желтоухов // Сельский механизатор. – 2018. – № 2. – С. 17-18.
2. Бышов, Н.В. Технология уборки картофеля в сложных полевых условиях с применением перспективных решений в конструкции и обслужива-

нии комбайнов: коллективная: Монография / Н.В. Бышов и др. – Рязань: РГАТУ, 2015. – 304 с.

3. Успенский, И.А. Формирование комплекса картофелеуборочных и транспортных машин / И.А. Успенский, И.А. Юхин, А.В. Мачнев, А.А. Голиков // Техника и оборудование для села. – 2021. – №2(284). – С.27-31.

4. Белов, М.И. Математическая модель отделения примесей от картофеля на элеваторе / М.И. Белов, И.П. Гаджиев, А.В. Шемякин, Н.Е. Кабдин, О.М. Мельников // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24. – № 6. – С. 47-51.

5. Успенский, И.А. Основы снижения энергозатрат в сельскохозяйственном производстве (на примере картофеля) [Текст] / И.А. Успенский, Г.К. Рембалович, Н.В. Бышов [и др.] // Монография. – Рязань, 2010. – 276 с.

6. Гаджиев, П.И. Условия работы сепарирующего элеватора картофелеуборочных машин на переувлажненных почвах / П.И. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев // Наука в центральной России. – 2022. – № 2(56). – С.98-106 – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-98-106

7. Гаджиев, П.И. Исследование влияния лопастного интенсификатора на полноту сепарации / П.И. Гаджиев, А.В. Шемякин, И.А. Успенский, Г.Г. Рамазанова, И.П. Гаджиев // Техника и оборудование для села. – 2023. – №1(307). – С. 27-29.

8. Гаджиев, П.И. Определение конструктивных параметров интенсификатора и условия выталкивания клубня из зазора между прутками сепарирующих элеватор / П.И. Гаджиев, И.П. Гаджиев, Г.Г. Рамазанова // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25. – № 1. – С.35-39.

9. Шемякин, А.В. Прогнозирование качества работы картофелеуборочной машины / А.В. Шемякин, М.Ю. Костенко, В.В. Терентьев, Н.А. Костенко // Сельский механизатор. – 2013. – № 5(51). – С.6-7.

10. Aniket, U. Development of potato harvesting model / U. Aniket, B. Rahul, D. Sarthak, R. Vipul, Ch. Deepak // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). – 2017. – 4. –1567-1570.

11. Калимуллин, М.Н. Новый роторно-пальчатый картофелекопатель / М.З. Салимзянов, В.Ф. Первушин, Р.Р. Шакиров Ф.М. Абдуллин, М.Н. Калимуллин // Сельский механизатор. – 2021. – № 5. – С. 12-13.

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### References

1. Byshov N.V. Perspektivy kartofelevodstva v Ryazanskom APK / N.V. Byshov, S.N. Borychev, G.K. Rembalovich, A.A. Zheltoukhov // Sel'skiy mekhanizator. – 2018. – № 2. – S. 17-18.
2. Byshov, N.V. Tekhnologiya uborkikartofelya v slozhnykh polevykh usloviyakh s primeneniym perspektivnykh resheniy v konstruksii i obsluzhivanii kombaynov: kollektivnaya: Monografiya / N.V. Byshov i dr. – Ryazan': RGATU, 2015. – 304 s.
3. Uspenskiy, I.A. Formirovaniye kompleksa kartofeleuborochnykh i transportnykh mashin / I.A. Uspenskiy, I.A. Yukhin, A.V. Machnev, A.A. Golikov // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. – 2021. – №2(284). – S.27-31.
4. Belov, M.I. Matematicheskaya model' otdeleniya primesey ot kartofelya na elevatore / M.I. Belov, I.P.



Gadzhiev, A.V. Shemyakin, N.Ye. Kabdin, O.M. Mel'nikov // *Agroinzheneriya*. – 2022. – Т. 24. – № 6. – С. 47-51.

5. Uspenskiy, I.A. *Osnovy snizheniya energozatrat v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve (na primere kartofelya) [Tekst] / I.A. Uspenskiy, G.K. Rembalovich, N.V. Byshov [i dr.] // Monografiya. – Ryazan', 2010. – 276 s.*

6. Gadzhiev, P.I. *Usloviya raboty separiruyushchego elevatora kartofeleuborochnykh mashin na pereuvlazhnennykh pochvakh / P.I. Gadzhiev, G.G. Ramazanova, I.P. Gadzhiev // Nauka v tsentral'noy Rossii. – 2022. – № 2(56). – S.98-106 – DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-98-106*

7. Gadzhiev, P.I. *Issledovaniye vliyaniya lopastnogo intensivifikatora na polnotu separatsii / P.I. Gadzhiev, A.V. Shemyakin, I.A. Uspenskiy, G.G. Ramazanova, I.P. Gadzhiev // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. – 2023. – №1(307). – S. 27-29.*

8. Gadzhiev, P.I. *Opredeleniye konstruktivnykh parametrov intensivifikatora i usloviya vytalkivaniya klubnya iz zazora mezhdru prutkami separiruyushchikh elevator / P.I. Gadzhiev, I.P. Gadzhiev, G.G. Ramazanova // Agroinzheneriya. – 2023. – Т. 25. – № 1. – S.35-39.*

9. Shemyakin, A.V. *Prognozirovaniye kachestva raboty kartofeleuborochnoy mashiny / A.V. Shemyakin, M.YU. Kostenko, V.V. Terent'yev, N.A. Kostenko // Sel'skiy mekhanizator. – 2013. – № 5(51). – S.6-7.*

10. Aniket, U. *Development of potato harvesting model / U. Aniket, B. Rahul, D. Sarthak, R. Vipul, Ch. Deepak // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). – 2017. – 4. – 1567-1570.*

11. Kalimullin, M.N. *Novyy rotorno-pal'chatyy kartofelekopatel' / M.Z. Salimzyanov, V.F. Pervushin, R.R. Shakirov F.M. Abdullin, M.N. Kalimullin // Sel'skiy mekhanizator. – 2021. – № 5. – S.89-95.*

*Contribution of the authors:*

*All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare no conflict of interest.*

#### **Информация об авторах**

**Успенский Иван Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», [ivan.uspenskiy@yandex.ru](mailto:ivan.uspenskiy@yandex.ru)

**Гаджиев Парвиз Имранович**, д-р техн. наук, профессор, декан факультета электроэнергетики и технического сервиса ФГБОУ ВО «Российский государственный университет народного хозяйства имени В.И. Вернадского», [rgadjiev@yandex.ru](mailto:rgadjiev@yandex.ru)

**Гаджиев Имран Парвизович**, научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет народного хозяйства имени В.И. Вернадского», [imgadjiev@mail.ru](mailto:imgadjiev@mail.ru)

**Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры природообустройства и водопользования ФГБОУ ВО «Российский государственный университет народного хозяйства имени В.И. Вернадского», [gulbike@yandex.ru](mailto:gulbike@yandex.ru)

#### **Author Information**

**Uspenskiy Ivan A.**, PhD in Engineering, Professor, the federal state-owned publicly-funded institution of higher education «Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev», [ivan.uspenskiy@yandex.ru](mailto:ivan.uspenskiy@yandex.ru)

**Gadzhiev Parviz I.**, PhD in Engineering, Professor, dean of the Electrical Power Engineering and Technical Service Faculty of the federal state-owned publicly-funded institution of higher education «Russian State University of National Economy named after V.I. Vernadsky», [rgadjiev@yandex.ru](mailto:rgadjiev@yandex.ru)

**Hadzhiev Imran P.**, researcher the federal of the federal state owned publicly-funded institution of higher education «Russian State University of National Economy named after V.I. Vernadsky», [imgadjiev@mail.ru](mailto:imgadjiev@mail.ru)

**Ramazanova Gulbike G.**, PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Environmental Engineering and Water Resources Management of the federal state-owned publicly-funded institution of higher education «Russian State University of National Economy named after V.I. Vernadsky», [gulbike@yandex.ru](mailto:gulbike@yandex.ru)

*Статья поступила в редакцию 17.08.2023; одобрена после рецензирования 10.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.*

*The article was submitted 17.08.2023; approved after reviewing 10.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.*



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 634.1-13  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.25.94.020

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ АВТОМОБИЛЯ, ВЛИЯЮЩИХ НА СОХРАННОСТЬ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ, ПЕРЕВОЗИМОЙ В КОНТЕЙНЕРАХ**

**Иван Алексеевич Успенский<sup>1</sup>, Максим Владимирович Антоненко<sup>2</sup>✉, Николай Владимирович Лимаренко<sup>3</sup>, Иван Александрович Юхин<sup>4</sup>, Дмитрий Олегович Прибылов<sup>5</sup>**

<sup>1,2,4,5</sup> Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г.Рязань, Россия

<sup>3</sup> Донской государственный технический университет, г.Ростов-на-Дону, Россия

<sup>1</sup> [ivan.uspensckij@yandex.ru](mailto:ivan.uspensckij@yandex.ru)

<sup>2</sup> [m.antonenko.pgs@yandex.ru](mailto:m.antonenko.pgs@yandex.ru)

<sup>3</sup> [limarenkodstu@yandex.ru](mailto:limarenkodstu@yandex.ru)

<sup>4</sup> [yuival@rambler.ru](mailto:yuival@rambler.ru)

**Аннотация.**

**Проблемы и цель.** Целью работы является исследование механических воздействий на перевозимую плодоовощную продукцию и возможности уменьшения факторов, усиливающих колебательные движения автомобилей, путем развития нового метода динамического расчета.

**Материалы и методы.** Для достижения поставленной цели были изучены способы перевозки сельскохозяйственной продукции грузовым транспортом с использованием контейнеров различных модификаций, проанализированы факторы динамического воздействия подвижной нагрузки на любые производственные автотранспортные средства.

**Результаты.** Обоснована перспектива использования алгоритма динамического расчета на примере балочной несущей системы и простейшей модели подвижной нагрузки для любых произвольных автотранспортных средств. Определено, что основными факторами динамического воздействия подвижной нагрузки являются: скорость движения нагрузки (эффект скорости); удары колес о неровности пути и проезжей части на мостах; колебания наддресорной части автомобиля.

**Заключение.** С учетом результатов исследований обоснована перспективность использования алгоритма динамического расчета на примере балочной несущей системы и простейшей модели подвижной нагрузки для любых произвольных автотранспортных средств. Определено, что основными факторами динамического воздействия подвижной нагрузки являются: скорость движения нагрузки (эффект скорости); удары колес о неровности пути и проезжей части на мостах; колебания наддресорной части автомобиля.

**Ключевые слова:** плодоовощная продукция, колебательные движения, динамическая модель, транспортные средства, движение, автодороги

**Для цитирования:** Успенский И.А., Антоненко М.В., Лимаренко Н.В., Юхин И.А. Прибылов Д.О. Перспективы исследования колебательных движений автомобиля, влияющих на сохранность плодоовощной продукции, перевозимой в контейнерах // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023.Т.15, №3. С.154-162 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.25.94.020>

Original article

**PROSPECTS FOR STUDYING VEHICLE VIBRATIONS AFFECTING THE SAFETY OF FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS CARRIED IN CONTAINERS**

**Ivan A. Uspensky<sup>1</sup>, Maxim V. Antonenko<sup>2</sup>✉, Nikolay V. Limarenko<sup>3</sup>, Ivan A. Yukhin<sup>4</sup>, Dmitry O. Pribylov<sup>5</sup>**

<sup>1,2,4,5</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

<sup>3</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

<sup>1</sup> [ivan.uspensckij@yandex.ru](mailto:ivan.uspensckij@yandex.ru)

<sup>2</sup> [m.antonenko.pgs@yandex.ru](mailto:m.antonenko.pgs@yandex.ru)

© Успенский И.А., Антоненко М.В., Лимаренко Н.В., Юхин И.А., Прибылов Д.О., 2023 г.

<sup>3</sup> limarenkodstu@yandex.ru<sup>4</sup> yuival@rambler.ru

### Annotation

**Problems and purpose.** The aim of the work is to study the mechanical effects on the transported fruit and vegetable products by reducing the factors that increase the oscillatory movements of cars, by developing a new method of dynamic calculation.

**Materials and methods.** To achieve this goal, the methods of transporting agricultural products by trucks using containers of various modifications were studied, the factors of the dynamic impact of a moving load on any arbitrary vehicles were analyzed.

**Results.** The prospect of using the dynamic calculation algorithm is substantiated by the example of a beam carrier system and the simplest model of a moving load for any arbitrary vehicles. It is determined that the main factors of the dynamic impact of a moving load are: the speed of the load (speed effect); wheel impacts in the roughness of the road and the carriageway on bridges; vibrations of the bolster part of the car.

**Conclusion.** Taking into account the results of the research, the prospects of using the dynamic calculation algorithm on the example of a beam carrier system and the simplest model of a moving load for any arbitrary vehicles are justified, it is determined that the main factors of the dynamic impact of a moving load are: the speed of the load (speed effect); wheel impacts in the roughness of the road and the carriageway on bridges; vibrations of the bolster part of the car.

**Key words:** fruits and vegetables, oscillatory movements, dynamic model, vehicles, traffic, roads

**For citation:** Uspenskiy A., Antonenko M.V., Limarenko N.V., Yukhin I. A., Pribylov D.O. Prospects for studying vehicle vibrations affecting the safety of fruit and vegetable products carried in containers. Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol.15, № 3.. P.154-162 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.25.94.020>

### Введение

Сельскохозяйственный рынок тесно взаимодействует с автомобильным грузовым транспортом, который применяет не только для производства продукции, но и для ее перевозки к местам хранения и использования. В связи с ростом объема перевозимой продукции, увеличением мощности применяемой техники существенно возросла нагрузка на дорожное покрытие, эстакады и мостовые сооружения. При взаимодействии модели «автомобиль - мостовое сооружение» возникают значительные колебательные процессы. Немаловажное влияние на передвижение по мостовому сооружению имеют: скорость автомобиля, количество одновременно проезжающих транспортных средств, неровности дорожного покрытия. Все это приводит к возникновению значительного динамического воздействия как на мостовое сооружение, так и на двигающийся автомобиль с находящимся в нем грузом плодоовощной продукции. Это, в конечном результате, приводит к существенным механическим повреждениям, влияющим на качество дальнейшего хранения. Все вышесказанное приводит к необходимости изучения и анализа колебательных процессов под действием подвижной нагрузки. Следовательно, изучение взаимодействия автодорожных мостов, пересеченных дорог и автомобильного транспорта, требующего совершенствования модели подвижной нагрузки с разработкой теории динамического анализа колебаний, является актуальной задачей [1, 2, 3].

После загрузки плодоовощной продукцией грузик перевозит ее на территорию склада, в магазин или в иное место, указанное в путевке, и в этот период его путь пролегает по пересеченной местности, по мостовым сооружениям с различным качеством дорожного покрытия, что приводит к тому, что автомобиль постоянно и существенно меняет скорость движения, плавность хода

[4-6, 14, 15]. В конечном итоге эти маневры приводят к возникновению динамического воздействия как на транспортное сооружение, так и на находящийся в движении автомобиль, в котором перевозят интересующую нас плодоовощную продукцию, и, как следствие, приводят к ее повреждению.

Определяющее значение имеет качество дорожного покрытия, зависящее от количества автомобилей, проезжающих одновременно по рассматриваемому транспортному сооружению.

Следовательно, определение эффективного способа снижения процента повреждения плодоовощной продукции, перевозимой грузовым транспортом – актуальная задача, одним из значимых аспектов которой является исследование динамического расчета на предложенной модели подвижной нагрузки, применительно к анализу колебательного движения дорог, мостовых сооружений.

Как известно из источников [1, 2, 3], при движении транспортного средства по мостовому сооружению действует зависимость «автомобиль-дорога», которая определяет нагрузку на автомобиль и его устойчивость в процессе движения, вибрацию отдельных механизмов, а также процент колебаний автомобиля в целом. Исследованиями авторов [4, 5, 6] установлено, что можно выделить ряд критериев для проведения динамического анализа системы. К их числу относят максимально допустимую скорость движения, число осей транспортного средства и расстояния между ними, вертикальные неровности пути, несовершенства поддресоренных и неподдресоренных элементов конструкции подвижного состава. Для моделирования колебаний автодорожных мостов при подвижной нагрузке разработаны динамические модели, которые дают возможность определить основные критерии для расчета: давление колес автомобиля и силовое динамическое воздействие на транспортное сооружение [5-8, 13].

**Экспериментальная часть**

Ранее было установлено, что при значительной скорости движения колебания подвижной нагрузки на мостовом сооружении значительнее, чем на подходах к нему, что, при определенных условиях, может угрожать повреждению плодоовощной продукции. Развитие новых методов динамических расчетов с использованием компьютерных систем позволяет с достаточной точностью определять динамические характеристики пролетных строений мостов. Однако до сих пор отсутствует обоснованная методика динамических испытаний и алгоритм сопоставления их результатов и проектных данных. Постоянным фактором возбуждения колебаний мостов является подвижная нагрузка [9-12].

Рассмотрим факторы динамического воздействия подвижной нагрузки на мост или эстакаду. Один из них – скорость движения, которая определяет возникающие силы инерции по криволинейной или ломаной траектории. Немаловажное значение имеют удары колес, подразделяемые на закономерные (переломы профиля), и случайные (неровности и выбоины дорожного покрытия), приводящие к периодическому изменению давления на ось, возникающие в результате колебаний над-рессорной части транспортного средства.

**Результаты и их обсуждение**

Рассмотрим случайные колебания автомобиля, нагруженного плодоовощной продукцией, который движется по однопролетному мосту. С этой целью представим грузовое средство в виде одно-массовой динамической модели, совершающей только вертикальные колебательные перемещения масс (рис. 1).

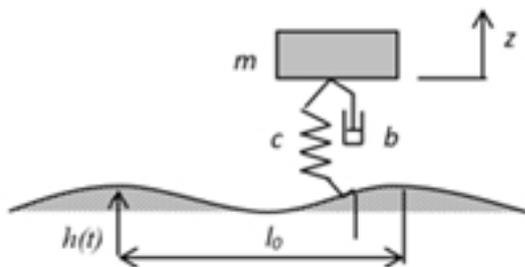


Рис. 1 – Динамическая модель транспортного средства

$m$  – поддресоренная масса (рама, кузов), кг;  $c$  – жесткость подвески автомобиля, кН/м;  $b$  – коэффициент неупругого сопротивления амортизаторов подвески автомобиля, кНс/м;  $z$  – обобщенная координата системы;  $h(t)$  и  $l_0$  – характеристики микропрофиля дорожного покрытия моста,

Fig. 1 – Dynamic vehicle model

$m$  – sprung mass (frame, body), Kg;  $c$  – vehicle suspension stiffness, kN/m;  $b$  – coefficient of inelastic resistance of car suspension shock absorbers, kNs/m;  $z$  – generalized coordinate of the system;  $h(t)$  and  $l_0$  – characteristics of the bridge pavement microprofile, m

Составим уравнения движения, используя уравнения Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} + \frac{\partial \Pi}{\partial q} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}} = 0, \quad (1)$$

где  $q$  – обобщенная координата.

Для представленной динамической модели рассмотрим:

– формулу для определения кинетической энергии колебаний:

$$T = \frac{1}{2} m \cdot \dot{z}^2. \quad (2)$$

– формулу для определения потенциальной энергии деформации упругих элементов:

$$\Pi = \frac{1}{2} c \cdot (z - h)^2. \quad (3)$$

– формулу диссипативной функции Релея:

$$\Phi = \frac{1}{2} b \cdot (\dot{z} - \dot{h})^2 \quad (4)$$

Формулы кинетической, потенциальной энергии колебаний (2, 3), а также функции Релея (4) подставим в уравнение Лагранжа (1) и, произведя необходимые преобразования, получим выражение:

$$m \cdot \ddot{z} + b \cdot \dot{z} + c \cdot z = \dot{h} \cdot b + h \cdot c. \quad (5)$$

Произведем некоторые преобразования, приняв, что

$$h(t) = h_0 \left( 1 - \cos \frac{2\pi \cdot x}{l_0} \right).$$

Так как  $x = vt$ , то  $h(t) = h_0 \left( 1 - \cos \frac{2\pi \cdot vt}{l_0} \right)$ , тогда

$$\dot{h}(t) = h_0 \cdot \frac{2\pi v}{l_0} \sin \left( \frac{2\pi \cdot vt}{l_0} \right).$$

Подставив полученные выражения в уравнение (5), получим, дифференциальное уравнение вертикальных колебаний автомобиля:

$$m \cdot \ddot{z} + b \cdot \dot{z} + c \cdot z = b \cdot h_0 \frac{2\pi v}{l_0} \sin \left( \frac{2\pi \cdot vt}{l_0} \right) + c \cdot h_0 \left( 1 - \cos \left( \frac{2\pi \cdot vt}{l_0} \right) \right), \quad (6)$$

Рассмотрим действующие в момент вертикальных колебаний автомобиля поперечные колебания мостового сооружения:

$$y_n(x) = \sin \left( \frac{\pi \cdot n}{l} x \right), \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

Для первой формы колебаний, при  $n=1,0$ , и  $x = l_0$ , получим выражение:



$$y(l_0) = \sin\left(\frac{\pi \cdot l_0}{l}\right). \quad (7)$$

Произведем необходимые преобразования и получим выражение, учитывающее совместные колебания системы грузового автомобиля и мостового сооружения:

$$\begin{aligned} m \cdot \ddot{z} + b \cdot \dot{z} + c \cdot z &= \\ &= b \cdot h_0 \frac{2\pi \cdot v}{l_0} \sin\left(\frac{2\pi \cdot vt}{l_0}\right) + \\ &+ c \cdot h_0 \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi \cdot vt}{l_0}\right)\right) + \sin\left(\frac{\pi \cdot l_0}{l}\right), \end{aligned} \quad (8)$$

где  $m$  – масса поддрессорной части автомобиля (рама, кузов), кг;  
 $c$  – жесткость подвески автомобиля, кН/м;  
 $b$  – коэффициент неупругого сопротивления амортизаторов подвески автомобиля, кН/м;  
 $z$  – обобщенная координата системы;  
 $h(t)$  и  $l_0$  – характеристики профиля дорожного покрытия моста, м;  
 $l$  – длина моста, м;  
 $V$  – скорость движения автомобиля, м/с;

Как известно, опоры автомобильных мостовых сооружений, являющиеся, в основном, балочными, могут быть жесткими, применяемыми у стационарных мостов, и упругими – у наплавных. Балки мостовых сооружений работают на изгиб, и, при динамическом воздействии на них подвижной нагрузки, получают свободные и вынужденные поперечные колебания, что требует тщательного исследования колебательного процесса [2, 3].

Рассмотрим мостовое сооружение в виде модели балки на шарнирных опорах с распределенной по длине массой (рис. 2). Необходимо учесть тот факт, что положение модели балки в определенный момент времени  $t$  определяется ее упругой линией, являющейся функцией двух переменных:  $y = f(x, t)$ .

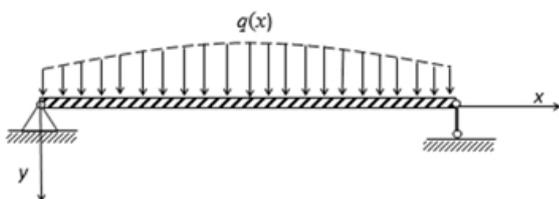


Рис. 2 – Модель мостового сооружения  
 Fig. 2 – Bridge structure model

Для дальнейшего расчета необходимо рассмотреть дифференциальную зависимость, возникающую между кривизной упругой линии балки и изгибающим моментом:

$$EI(x) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = M(x, t). \quad (9)$$

С этой целью продифференцируем выражение (9) дважды по критерию:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left[ EI(x) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right] = q(x), \quad (10)$$

где  $q(x) = \frac{\partial^2 M(x, t)}{\partial x^2}$  – распределенная нагрузка;

$EI(x)$  – жесткость балки (в общем случае переменная).

Так как мы рассматриваем балку на шарнирных опорах с распределенной по длине массой, то при расчете необходимо предусмотреть возникновение при колебаниях распределенной нагрузки, т.е. распределенных сил инерции:

$$J_i = -m(x) \ddot{y}(x, t). \quad (11)$$

Так как при колебаниях перемещения зависят от координаты  $x$  и времени  $t$ , то введем частные производные, тогда сила инерции будет иметь вид:

$$J_i = -m(x) \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2}. \quad (12)$$

Произведем вычисление уравнения колебаний системы, приняв определенные допущения: стержень прямолинейный, постоянного сечения, с равномерно распределенной массой на единицу длины, имеющий постоянную жесткость на изгиб, т.е.  $EI = \text{const}$ .

Тогда уравнение (10) примет вид:

$$EI \frac{\partial^4 y(x, t)}{\partial x^4} = -m \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2}. \quad (13)$$

При решении дифференциального уравнения форма изгиба не должна зависеть от времени, поэтому при решении разложим искомую функцию по собственным формам колебаний и представим решение в виде произведения двух функций, каждая из которых зависит только от одной переменной:

$$y(x, t) = y(x) \cdot f(t). \quad (14)$$

Произведем необходимые вычисления, получим выражение:

$$EI \frac{\partial^4 y(x)}{\partial x^4} f(t) = -m \frac{\partial^2 f(t)}{\partial t^2} y(x). \quad (15)$$

Разделим переменные уравнения (15) на  $m \cdot y(x) \cdot f(t)$ , получим уравнение, в котором в

левую часть входит только переменная  $x$ , в правую – только переменная  $t$ :

$$\frac{EI}{m \cdot y(x)} \frac{\partial^4 y(x)}{\partial x^4} = -\frac{1}{f(t)} \frac{\partial^2 f(t)}{\partial t^2}. \quad (16)$$

Равенство любых переменных  $x$  и  $t$  возможно только при постоянных равных величинах левой и правой частей выражения. Таким образом, про-



должим вычисления, обозначив эту величину через  $\omega^2$  и, приравняв ее к левой и правой частям уравнения. Получим следующие выражения:

$$-\frac{1}{f(t)} \frac{\partial^2 f(t)}{\partial t^2} = \omega^2, \quad (17)$$

$$\frac{EI}{m \cdot y(x)} \frac{\partial^4 y(x)}{\partial x^4} = \omega^2. \quad (18)$$

$$\frac{d^2 f(t)}{dt^2} + f(t)\omega^2 = 0 \quad (19)$$

Полученное уравнение (19) представляет систему с одной степенью свободы и дает только закон колебаний во времени, происходящих по гармоническому закону. Решение уравнения имеет вид:

$$f(t) = A \sin(\omega \cdot t + \alpha).$$

Частоты колебаний определим из уравнения:

$$\frac{d^4 y(x)}{dx^4} - \frac{m\omega^2}{EI} y(x) = 0 \quad (20)$$

Обозначим  $k^4 = \frac{m\omega^2}{EI}$ , тогда уравнение примет вид:

$$\frac{d^4 y(x)}{dx^4} - k^4 y(x) = 0.$$

Решаем полученное уравнение.

Найдем корни характеристического уравнения

$$\begin{aligned} r^4 - k^4 &= 0 \\ (r^2 + k^2)(r^2 - k^2) &= 0 \\ r_{1,2} &= \pm k \quad r_{3,4} = \pm ik \end{aligned}$$

Полученным корням соответствует решение уравнения:

$$y(x) = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx + C_3^* e^{kx} + C_4^* e^{-kx}. \quad (21)$$

$C_1, C_2, C_3^*, C_4^*$  – постоянные интегрирования.

$$\text{Так как } sh(kx) = \frac{e^{kx} - e^{-kx}}{2}, \quad ch(kx) = \frac{e^{kx} + e^{-kx}}{2},$$

$$\text{то } e^{kx} = ch(kx) + sh(kx), \quad e^{-kx} = ch(kx) - sh(kx), \text{ и}$$

$$y(x) = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx + C_3^* ch(kx) + C_3^* sh(kx) + C_4^* ch(kx) - C_4^* sh(kx)$$

$$y(x) = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx + (C_3^* - C_4^*) sh(kx) + (C_3^* + C_4^*) ch(kx)$$

Введем новые постоянные

$$C_3^* - C_4^* = C_3, \quad C_3^* + C_4^* = C_4$$

Тогда решение уравнения (21) будет иметь вид:

$$y(x) = C_1 \sin kx + C_2 \cos kx + C_3 sh(kx) + C_4 ch(kx), \quad (22)$$

$$\text{где } k = \sqrt[4]{\frac{m\omega^2}{EI}}.$$

Постоянные  $C_1, C_2, C_3, C_4$  являются постоянными интегрирования и определяются из граничных условий, которые зависят от опорных закреплений балки. Краевые условия при движении для идеализированных расчетных схем опирания совпадают с условиями, принятыми для статических задач

На шарнирных опорах прогиб  $y(x)$  и изгиба-

ющий момент  $M = -EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$  равны нулю, т.е.

$$y(x) = 0 \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0.$$

Для балки (рис. 3) граничные условия можно записать так:

$$y(0) = y(l) = 0 \quad y''(0) = y''(l) = 0$$

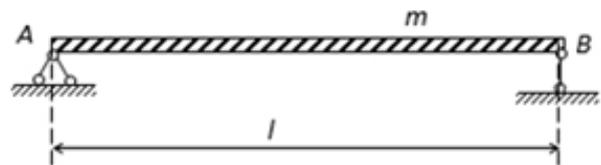


Рис. 3 – Динамическая модель мостового сооружения

Fig. 3 – Dynamic model of the bridge structure

Штрихи обозначают вторую производную по  $x$ . Имеем:

$$y(x) = C_1 \sin(kx) + C_2 \cos(kx) + C_3 sh(kx) + C_4 ch(kx),$$

$$y'(x) = C_1 k \cos(kx) - C_2 k \sin(kx) +$$

$$+ C_3 k ch(kx) + C_4 k sh(kx),$$

$$y''(x) = -C_1 k^2 \sin(kx) - C_2 k^2 \cos(kx) + C_3 k^2 sh(kx) + C_4 k^2 ch(kx).$$

При  $x = 0$  получим:



$$\begin{cases} y(0) = C_2 + C_4 = 0 \\ y''(0) = -k^2 C_2 + k^2 C_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow C_2 = C_4 = 0.$$

При  $x = l$  получим:

$$\begin{cases} C_1 \sin(kl) + C_3 sh(kl) = 0, \\ -k^2 C_1 \sin(kl) + k^2 C_3 sh(kl) = 0, \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} C_1 \sin(kl) + C_3 sh(kl) = 0, \\ -C_1 \sin(kl) + C_3 sh(kl) = 0. \end{cases} \quad (23)$$

Для получения ненулевых значений  $C_1$  и  $C_3$  нужно приравнять к нулю определитель системы:

$$\begin{vmatrix} \sin(kl) & sh(kl) \\ -\sin(kl) & sh(kl) \end{vmatrix} = 0.$$

Раскрывая определитель, получим:

$$\sin(kl) \cdot sh(kl) + \sin(kl) \cdot sh(kl) = 0,$$

Или

$$\sin(kl) \cdot sh(kl) = 0. \quad (24)$$

Это и есть уравнение частот для свободно лежащей балки.

Решаем полученное уравнение.

$$1) sh(kl) = 0$$

$$\frac{e^{kx} - e^{-kx}}{2} = 0, \quad e^{kx} - e^{-kx} = 0, \quad e^{kx} = e^{-kx},$$

$$e^{kx} = \frac{1}{e^{kx}}, \quad e^{2kx} = 1.$$

Отсюда получаем  $k = 0$ .

Корень  $k = 0$  соответствует отсутствию колебаний и нас это не интересует

$$2) \sin(kl) = 0.$$

Решением этого уравнения будут корни

$$kl = \pi n \quad \text{или} \quad k = \frac{\pi n}{l}$$

где  $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$

$$\text{Так как } k^4 = \frac{m\omega^2}{E} \text{ то } \omega = k^2 \sqrt{\frac{EI}{m}} = \frac{\pi^2 n^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}.$$

Низшая частота колебаний при  $n = 1$  будет равна:

$$\omega_1 = \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}.$$

Для определения формы колебаний определим коэффициенты  $C_1$  и  $C_3$ . Сложим два уравнения из системы (23), получим:

$$C_3 sh(kl) = 0,$$

так как  $sh(kl) \neq 0$ , то  $C_3 = 0$ .

Тогда  $C_1$  будет иметь произвольное значение и решение имеет вид:

$$y_n(x) = C_1 \sin(kx) = C_1 \sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right). \quad (25)$$

Пусть  $C_1 = 1$ , тогда уравнение колебания моста имеет вид:

$$y_n(x) = \sin\left(\frac{\pi \cdot n}{l} x\right), \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \quad (26)$$

Таким образом, формы колебания моста имеют вид полуволн (рис. 4).

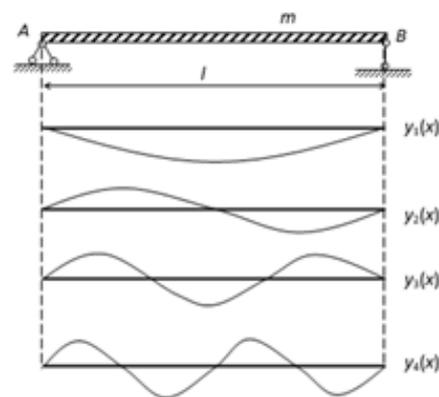


Рис. 4 – Формы колебаний мостового сооружения

Fig. 4 – Vibration modes of a bridge structure

### Заключение

Проведённый расчет позволяет обосновать перспективу использования алгоритма динамического расчета на примере балочной несущей системы и простейшей модели подвижной нагрузки для любых произвольных автотранспортных средств. Основными факторами динамического воздействия подвижной нагрузки являются: скорость движения нагрузки (эффект скорости); удары колес о неровности пути и проезжей части на мостах; колебания адрессорной части автомобиля.

### Список источников

1 Бышов, Н.В. Современные технические средства для работы в садах/ Н.В. Бышов, С.Н. БорычевИ.А. Успенский, Гришин И.И., Кокорев Г.Д., и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 134/10. С. 1006-1017.IDA [article ID]: 1341710082, doi: 10.21515/1990-4665-134-082

2. Успенский, И.А. Исследование алгоритма динамического расчета для уменьшения факторов, усиливающих колебательные движения автомобилей, приводящие к порче перевозимой плодородной продукции / И.А. Успенский, М.В. Антоненко, Н.В. Лимаренко и др.] // Известия НВ АУК. 2022.



№ 3(67). С. 487-497.

3. Успенский, И. А. Алгоритм сохранения качества плодоовощной продукции при уборочно-транспортных работах / И.А. Успенский, И.А. Юхин, С.В. Колупаев, К.А. Жуков // Техника и оборудование для села. – 2013. - №12. – С. 12 – 15.

4. Успенский, И.А. Тенденции перспективного развития сельскохозяйственного транспорта / И.А. Успенский, И.А. Юхин, Д.С. Рябчиков и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) . -Краснодар: КубГАУ, 2014. - №07(101). С. 2060 -2075. -Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/136.pdf>, 1 у.п.л., импакт-фактор РИНЦ=0,346

5. Измайлов, А.Ю. Модернизация технологий транспортирования селекционного урожая [Текст] / А.Ю. Измайлов, Н.Е. Евтушенко, Р.К. Курбанов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. - 2017. - № 2.- С. 6-8.

6. Бышов, Н.В. Обзор разработок в области сохранения качества яблок при перевозке контейнерным способом / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, Кокорев Г.Д., Юхин И.А., и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 133. С. 1280-1299.

7. Успенский, И.А. Пути снижения травмируемости плодоовощной продукции при внутрихозяйственных перевозках/ И.А. Успенский, И.А. Юхин, К.А. Жуков и др.//Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. -Краснодар: КубГАУ, 2014. -№02(096). С. 360 -372. -IDA [article ID]: 0961402026. -Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/26.pdf>, 0,812 у.п.л., импакт-фактор РИНЦ=0,346. EDN: TYPEVV

8. Бортник, А.В. Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований устойчивости движения тракторного поезда/ А.В. Бортник, И.А. Успенский, И.А. Юхин и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 164/10. С. 222-231. IDA [article ID]:

1642010019.

9 Аникин, Н. В. Устройство для снижения колебаний грузовой платформы / Н. В. Аникин, С. В. Колупаев, И. А. Успенский, И. А. Юхин // Сельский механизатор. – 2009. - №8. – С. 31.

10 Zakhray, S.M. Analysis of fruit supply chain transport system based on shipping costs and greenhouse gas emissions / Zakhray S.M., Shivakoti N., Stasinopoulos P., Golroadbury S.R., Kraslavsky A. // Procedia Manufacturing "30th International Conference on Flexible automation and intelligent manufacturing", FAIM 2021". - 2020. - S. 1717-1722. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44989934>.

11 Carl J. Rosen and Roger Eliason. Nutrient Management for Commercial Fruit and Vegetable Crops in Minnesota - Department of Soil, Water, and Climate University of Minnesota, 2005 - 40 p. DOI:10.5281/zenodo.2401443.

12 Byshov N.V., Borychev S.N., Simdyankin A.A., Yukhin I.A., Golikov A.A. Increasing the safety of agricultural products during its transportation and unloading (2018) // ACM International Conference Proceeding Series. - 2018. - P. 176-179. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43976207>

13 Byshov N.V., Borychev S.N., Kashirin D.E., Kokorev G.D., Kostenko M.Y., Rembalovich G.K., Simdyankin A.A., Uspensky I.A., Shemyakin A.V., Yukhin I.A., Danilov I.K., Ryadnov A.I., KOSUL'NIKOV R.A. Theoretical studies of the damage process of easily damaged products in transport vehicle body during the on-farm transportation.// ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.- 2018. - №13 (10). - P. 3502-3508.N.V. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35524843>

14 Nazarova F.X., Xuramova X.M. Meva-sabz avotmahsulotlariniyetishtirishvaqaytaishlashnirivojlantirishistiqbollari // Iqtisodiyot: TahlillarvaPrognozlar. - 2020. - № 3-4 (6-7). P 98-104. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45841477>.

15 Rahimov R.V., Khadjimukhametova M.A., Rakhmatov Z.X. Development of improved technical means for transportation fruits and vegetables // EUROPEAN SCIENCE REVIEW. - 2016. - № 1. P 175-177 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25957068/>

#### Вклад авторов:

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### References

1 Byshov, N.V. *Sovremennye tekhnicheskie sredstva dlya raboty v sadah/ N.V. Byshov, S.N. Borychev. I.A. Uspenskij, Grishin I.I., Kokorev G.D., i dr. // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 134/10. S. 1006-1017. IDA [article ID]: 1341710082, doi: 10.21515/1990-4665-134-082*

2 Uspenskij, I.A. *Issledovanie algoritma dinamicheskogo rascheta dlya umen'sheniya faktorov, usilivayushchih kolebatel'nye dvizheniya avtomobilej, privodyashchie k porche perevozimoy plodoovoshchnoj produkcii / I.A. Uspenskij, M.V. Antonenko, N.V. Limarenko i dr.] // Izvestiya NV AUK. 2022. № 3(67). S. 487-497.*

3 Uspenskij, I. A. *Algoritm sohraneniya kachestva plodoovoshchnoj produkcii pri uborochno-transportnyh rabotah / I.A. Uspenskij, I.A. YUhin, S.V. Kolupaev, K.A. ZHukov // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2013. - №12. – S. 12 – 15.*



4. Uspenskij, I.A. Tendencii perspektivnogo razvitiya sel'skohozyajstvennogo transporta / I.A. Uspenskij, I.A. YUhin, D.S. Ryabchikov i dr. // Politematicheskij setевой elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) . -Krasnodar: KubGAU, 2014. - №07(101). S. 2060 -2075. -Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/136.pdf>, 1 u.p.l., impakt-faktor RINC=0,346

5. Izmajlov, A.YU. Modernizaciya tekhnologij transportirovaniya selekcionnogo urozhaya [Tekst] / A.YU. Izmajlov, N.E. Evtushenkov, R.K. Kurbanov // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. - 2017. - № 2.- S. 6-8.

6. Byshov, N.V. Obzor razrabotok v oblasti sohraneniya kachestva yablok pri perevozke kontejnernym sposobom / N.V. Byshov, S.N. Borychev, I.A. Uspenskij, Kokorev G.D., YUhin I.A., i dr. // Politematicheskij setевой elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. №133. S. 1280-1299.

7. Uspenskij, I.A. Puti snizheniya travmiruemosti plodoovoshchnoj produkcii pri vnutrihozyajstvennyh perevozkah/ I.A. Uspenskij, I.A. YUhin, K.A. ZHukov i dr. // Politematicheskij setевой elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Elektronnyj resurs]. -Krasnodar: KubGAU, 2014. -№02(096). S. 360 -372. -IDA [article ID]: 0961402026. -Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/26.pdf>, 0,812 u.p.l., impakt-faktor RINC=0,346. EDN: TYPEVV

8. Bortnik, A.V. Analiz rezul'tatov teoreticheskikh i eksperimental'nyh issledovanij ustojchivosti dvizheniya traktornogo poezda/ A.V. Bortnik, I.A. Uspenskij, I.A. YUhin i dr. // Politematicheskij setевой elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 164/10. S. 222-231. IDA [article ID]: 1642010019.

9 Anikin, N. V. Ustrojstvodyasnizheniyakolebanijgruzovojplatformy / N. V. Anikin, S. V. Kolupaev, I. A. Uspenskij, I. A. YUhin // Sel'skijmekhanizator. – 2009. - №8. – S. 31.

10 Zakhay, S.M. Analysis of fruit supply chain transport system based on shipping costs and greenhouse gas emissions / Zakhay S.M., Shivakoti N., Stasinopoulos P., Golroadbury S.R., Kraslavsky A. // Procedia Manufacturing "30th International Conference on Flexible automation and intelligent manufacturing", FAIM 2021". - 2020. - S. 1717-1722. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44989934>.

11 Carl J. Rosen and Roger Eliason. Nutrient Management for Commercial Fruit and Vegetable Crops in Minnesota - Department of Soil, Water, and Climate University of Minnesota, 2005 - 40 p. DOI:10.5281/zenodo.2401443.

12 Byshov N.V., Borychev S.N., Simdyankin A.A., Yukhin I.A., Golikov A.A. Increasing the safety of agricultural products during its transportation and unloading (2018) // ACM International Conference Proceeding Series. - 2018. - P. 176-179. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43976207>

13 Byshov N.V., Borychev S.N., Kashirin D.E., Kokorev G.D., Kostenko M.Y., Rembalovich G.K., Simdyankin A.A., Uspensky I.A., Shemyakin A.V., Yukhin I.A., Danilov I.K., Ryadnov A.I., KOSUL'NIKOV R.A. Theoretical studies of the damage process of easily damaged products in transport vehicle body during the on-farm transportation. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.- 2018. - №13 (10). - P. 3502-3508. N.V. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35524843>

14 Nazarova F.X., Xuramova X.M. Meva-sabzavotmahsulotlariniyetishtirishvaqaytaishlashnirivojlantirish istiqbollari // Iqtisodiyot: TahlillarvaPrognozlar. - 2020. - № 3-4 (6-7). R 98-104. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45841477>.

15 Rahimov R.V., Khadjimukhametova M.A., Rakhmatov Z.X. Development of improved technical means for transportation fruits and vegetables // EUROPEAN SCIENCE REVIEW. - 2016. - № 1. P 175-177 URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25957068/>

Contribution of the authors:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

#### Информация об авторах

**Успенский Иван Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технической эксплуатации транспорта, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, [ivan.uspensckij@yandex.ru](mailto:ivan.uspensckij@yandex.ru)

**Антоненко Максим Владимирович**, аспирант кафедры технической эксплуатации транспорта, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, [m.antonenko.pgs@yandex.ru](mailto:m.antonenko.pgs@yandex.ru)

**Лимаренко Николай Владимирович**, д-р техн. наук, профессор кафедры приборостроения и биомедицинской инженерии, Донской государственный технический университет, [limarenkodstu@yandex.ru](mailto:limarenkodstu@yandex.ru)

**Юхин Иван Александрович**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, [yuival@rambler.ru](mailto:yuival@rambler.ru)



**Прибылов Дмитрий Олегович**, аспирант, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия

**Author information**

**Uspensky Ivan A.**, Doctor of of Engineering Sci., Professor, Head of the Department of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, [i.van.uspensckij@yandex.ru](mailto:i.van.uspensckij@yandex.ru)

**Antonenko Maxim V.**, post-graduate student of the Department of technical operation of transport, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, [m.antonenko.pgs@yandex.ru](mailto:m.antonenko.pgs@yandex.ru)

**Limarenko Nikolay V.**, Doctor of Engineering Sci., Professor, Department of Instrumentation and Biomedical Engineering, Don State Technical University, [limarenkodstu@yandex.ru](mailto:limarenkodstu@yandex.ru)

**Yukhin Ivan A.**, Doctor of Engineering Sci., Professor, Head of the Department of Automotive and Tractor Engineering and Thermal Power Engineering, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, [yuival@rambler.ru](mailto:yuival@rambler.ru)

**Pribylov Dmitry O.**, graduate student, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia

Статья поступила в редакцию 23.08.2023; одобрена после рецензирования 09.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 23.08.2023; approved after reviewing 09.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 631.316.2  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.75.18.021

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА РЕГУЛИРОВАНИЯ КАТКА КОМБИНИРОВАННОГО КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

**Михаил Николаевич Чаткин**<sup>1✉</sup>, **Сергей Евгеньевич Федоров**<sup>2</sup>, **Алексей Александрович Жалнин**<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, г. Саранск, Россия

<sup>1</sup> chatkinm@yandex.ru

<sup>2</sup> seregafedorov1989@mail.ru

<sup>3</sup> alekseisxm@yandex.ru

**Аннотация**

**Проблема и цель.** В настоящее время одной из трудоемких и ответственных операций является обработка почвы. Современные комбинированные культиваторы не в полной мере отвечают агротехническим требованиям: не все катки одинаково деформируют и уплотняют почву на необходимую глубину. Это отражается на качестве и количестве получаемой сельскохозяйственной продукции. Целью данного исследования является повышение качества поверхностной обработки почвы.

**Методология.** Изучен вопрос возможности дифференцированного воздействия катков за счет силового регулирования изменением параметров пружины механизма подвески. Регулирование силового воздействия пружины подвески катка позволит избирательно воздействовать на почву для выполнения агротехнических требований соответствующему технологическому приему. Определено необходимое усилие, при котором пружинный механизм обеспечит требуемое давление катка. Для определения параметров катка, при которых обеспечивается его работоспособность, рассмотрены условия его равновесия с учетом воздействия на него сил и моментов со стороны почвы через подвеску и раму орудия. Для проверки полученных параметров катка и механизма его регулирования, реализованных в конструкции комбинированного культиватора, нами в почвенном канале на кафедре мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А.И. Лещанкина были проведены лабораторные исследования. Параметрами работы катка были приняты: крошение почвы и тяговое усилие.

**Результаты.** На основании оптимизации параметров и режимов работы адаптивного комбинированного культиватора методом планирования полного факторного эксперимента установлено, что оптимальные показатели тягового сопротивления и крошения почвы будут соответственно равны  $F_m = 37,7$  кН,  $C_{кр} = 88,3$  %.

**Заключение.** Результаты исследований послужили основанием для введения в конструкцию адаптивного комбинированного культиватора механизма регулирования жесткости катка и разработана его оригинальная конструкция.

**Ключевые слова:** комбинированный культиватор, механизм регулирования, почва, каток

**Для цитирования:** Чаткин М. Н., Федоров С. Е., Жалнин А.А. Определение параметров механизма регулирования катка комбинированного культиватора для дифференцированной обработки почвы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2023. Т15, №3. С. 163-169 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.75.18.021>

Original article

**DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE CONTROL MECHANISM OF THE ROLLER OF THE COMBINED CULTIVATOR FOR DIFFERENTIATED TILLAGE**

**Mikhail N. Chatkin**<sup>1✉</sup>, **Sergey E. Fedorov**<sup>2</sup>, **Alexey A. Zhalnin**<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russia

<sup>1</sup> chatkinm@yandex.ru

<sup>2</sup> seregafedorov1989@mail.ru<sup>3</sup> alekseisxm@yandex.ru

## Abstract

**Problem and purpose.** Tillage is one of the time-consuming and responsible operations. Modern combined cultivators do not fully meet the agrotechnical requirements: not all rollers equally deform and compact the soil to the required depth. This affects the quality and quantity of agricultural products received. The purpose of this study is to improve the quality of surface tillage.

**Methodology.** The question of the possibility of differentiated impact of rollers due to power regulation by changing the parameters of the spring of the suspension mechanism is studied. Regulation of the force action of the roller suspension spring will allow selectively influencing the soil to meet the agrotechnical requirements of the appropriate technological technique. The necessary force is determined, at which the spring mechanism will provide the required pressure of the roller. To determine the parameters of the roller, at which its operability is ensured, the conditions of its equilibrium are considered, taking into account the impact of forces and moments on it from the soil through the suspension and the frame of the gun. To verify the obtained parameters of the roller and the mechanism of its regulation implemented in the design of the combined cultivator, laboratory studies were carried out in the soil channel at the Department of Mobile Power Equipment and Agricultural Machinery named after Professor A.I. Leshchankin. The parameters of the roller operation were adopted: soil crumbling and traction force.

**Results.** Based on the optimization of the parameters and operating modes of the adaptive combined cultivator by the method of planning a full factor experiment, it was found that the optimal indicators of traction resistance and soil crumbling will be respectively equal to  $F_t = 37.7$  kN,  $C_{cr} = 88.3\%$ .

**Conclusion.** The results of the research served as the basis for the introduction of the mechanism for regulating the rigidity of the roller into the design of the adaptive combined cultivator and its original design was developed.

**Key words:** combined cultivator, control mechanism, soil, skating rink

**For citation:** Chatkin M. N., Fedorov S. E., Zhalnin A.A. Determination of parameters of the control mechanism of the roller of a combined cultivator for differentiated tillage // Herald of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol.15, No. 3. P 163 -169 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.75.18.021>

## Введение

В современном сельском хозяйстве при обработке почвы начинают широко использоваться комбинированные культиваторы для дифференцированной обработки почвы [1,2]. При этом в составе агрегатов для основной, дополнительной и предпосевной обработок почвы в качестве вспомогательных средств обеспечения агротехнических требований используются катки различных типов и конструкций. Катки используют для уплотнения и выравнивания верхнего почвенного слоя почвы, измельчения крупных почвенных агрегатов и разрушения почвенной корки, а также для заделки удобрений перед посевом [3-8].

Катки используются независимо друг от друга как в пахотных, так и комбинированных агрегатах для обработки верхнего слоя почвы. Их применяют перед посевом и для послепосевого прикатывания. Перед посевом проводят выравнивание поверхности и уплотняют рыхлую, не осевшую почву. Отсутствие агротехнического приема предпосевого прикатывания, особенно когда разрыв между предпосевной обработкой и посевом минимальный, приводит к оседанию почвы в момент всходов, что способствует повреждению корней растений. Прикатывание после посева улучшает контакт семян с почвой, способствует лучшему притоку влаги из нижних слоев почвы, что ускоряет прорастание семян и появление дружных всходов. В сухих условиях прикатывание уменьшает потерю влаги за счет создания мелкокомковатой уплотненной прослойки на поверхности поля с соблюдением условий конвективной диффузии, что

особенно заметно на рыхлой почве. Прикатывание перед посевом способствует защите верхнего почвенного слоя от ветровой эрозии.

Каждый каток для выполнения своих функций должен обеспечивать заданную глубину деформации почвенной поверхности по всей ширине захвата. Рабочие элементы катков, находящихся в контакте с почвой, должны обеспечивать копирование сложного микрорельефа поверхности поля. Следовательно, каток, постоянно взаимодействуя с почвой, имеет определенные колебания относительно заданного расчетного положения.

## Материалы и методы исследования

Проведенный анализ литературы показывает, что не все катки одинаково деформируют и уплотняют почву на необходимую глубину [3-5]. Первой причиной непостоянства глубины хода катков является изменчивость физико-механических свойств почвы, неровности поверхности поля, наличие комков разного размера на поверхности поля после воздействия почвообрабатывающих рабочих органов, в том числе и комбинированного культиватора для дифференцированной обработки почвы. В зависимости от складывающихся почвенных условий существующие конструкции катков не способны избирательно подстраиваться под реальную ситуацию, когда необходимо усилить или уменьшить степень деформирования почвенной среды. Предлагается изучить вопрос возможности дифференцированного воздействия катков за счет силового регулирования изменением параметров пружины механизма подвески. Регулирование силового воздействия пружины



подвески катка позволит избирательно воздействовать на почву для выполнения агротехнических требований соответствующему технологическому приему. Определим необходимое усилие, при котором пружинный механизм обеспечит требуемое давление катка.

Колебания катка в продольно-вертикальной плоскости определяют силы и моменты сил, действующих на механизм подвески катка. Приложенные силы и моменты в складывающихся переменных условиях работы в системе «рабочая поверхность катка-почва» постоянно изменяются, что приводит к стремлению катка занять такое положение, при котором действующие на него силы уравновешиваются.

С целью обеспечения постоянного копирования микрорельефа верхнего почвенного слоя каток к раме орудия закрепляется шарнирно. При этом его уплотняющая способность и устойчивость хода в значительной мере зависят от массы катка и расположения тяги подвески относительно горизонта. Для определения параметров катка, при которых обеспечивается его работоспособность, рассмотрим условия его равновесия с учетом воздействия на него сил и моментов со стороны почвы через подвеску и раму орудия (рис.1): силы тяжести  $G$ , силы воздействия пружины механизма регулирования давления катка  $F_{np}$ , нормальной составляющей силы сопротивления движению катка со стороны почвы  $F_N$ , горизонтальной составляющей тяги  $F_t$ , которая реализуется через звено  $OC$  подвески катка.

Обозначим геометрические параметры подвески в соответствии с более подробной схемой, приведенной на рис.2:  $CO=l_1$ ;  $Sk=l_2$ ; угол  $COM = \gamma$ .

Тогда условие равновесия катка от действия сил и моментов при взаимодействии с почвой относительно шарнира  $C$  запишется (рис.2):

$$M_C = 0; \tag{1}$$

$$F_N l_1 - F_{np} l_2 - G l_1 \cdot \cos \gamma = 0; \tag{2}$$

$$F_N = \frac{F_{np} l_2 - G l_1 \cdot \cos \gamma}{l_1}. \tag{3}$$

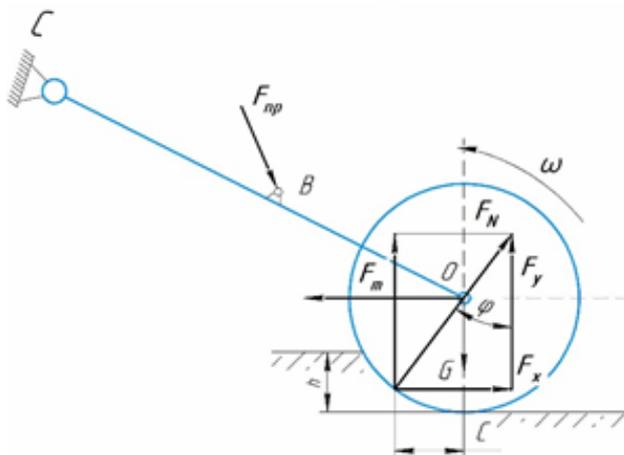


Рис. 1 – Силы и моменты, действующие на каток  
Fig. 1 – Forces and moments acting on the skating rink

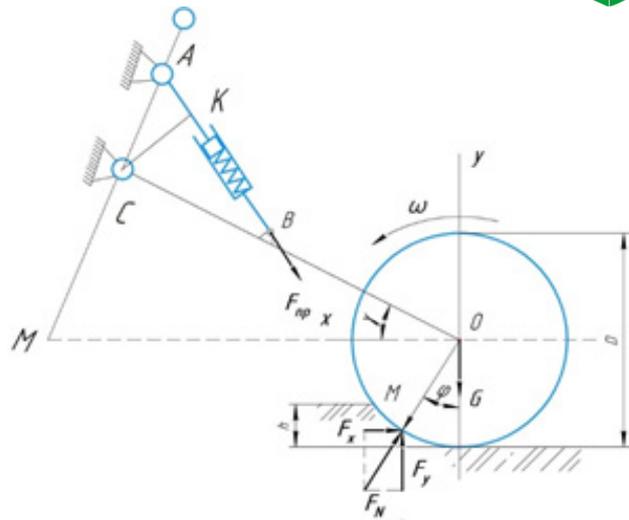


Рис.2 – Схема к определению параметров механизма подвески катка

Fig. 2 – Scheme for determining the parameters of the roller suspension mechanism

Для выполнения агротехнических требований по уплотнению верхнего слоя почвы и разрушению крупных глыб почвы после основной или при работе впереди идущих культиваторных лап комбинированного культиватора следует установить соответствующее давление катка на единицу ширины захвата  $B$ , (кН/м). Из выражения (3) с учетом  $F_y = F_N \cos \varphi$ , (рис. 2), следует:

$$k = \frac{F_N \cos \varphi}{B} = \frac{F_{np} l_2 - G l_1 \cdot \cos \gamma}{B l_1}, \tag{4}$$

где  $B$  – ширина захвата катка.

Для требуемого давления и выполнения агротехнических требований из уравнения (4) определяем усилие, которое должен обеспечить пружинный механизм, воздействуя на тягу подвески катка:

$$F_{np} = \frac{k B l_1 - G l_1 \cdot \cos \gamma}{l_2} = \frac{l_1}{l_2} (k B - G \cos \gamma). \tag{5}$$

Из выражения (5) следует, что усилие воздействия пружины, при котором обеспечиваются необходимые силовые воздействия на каток для выполнения агротехнических требований, зависит от точки приложения усилия пружины и длины поводка подвески катка.

С учетом выражения (3) и направления вектора силы  $F_N$ , вертикальная нагрузка на каток выражается из уравнения:

$$F_y = F_N \cos \varphi = \left( \frac{F_{np} l_2 + G l_1 \cdot \cos \gamma}{l_1} \right) \cos \varphi. \tag{6}$$

Обобщенная сила сопротивления движению катка с учетом зависимости (6) и формулы В. Грандвуане – В.П. Горячкина [6,7], можем записать:



$$F_x = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{[(F_{np} \frac{l_2}{l_1} + G \cdot \cos\gamma) \cos\varphi]^3}{qBd^2}}, \quad (7)$$

где  $q$  – коэффициент объемного смятия почвы;  
 $B$  – ширина захвата катка;  
 $d$  – диаметр катка.

При преодолении препятствий в виде крупных глыб, которые образуются после предшествующей обработки или рабочих органов культиватора, необходимо подобрать соответствующий диаметр катка. Исходя из равновесия моментов сил, препятствующих движению катка, можем записать [7,8] (рис. 3):

$$F_m a \geq F_y c. \quad (8)$$

С учетом того, что  $F_m \geq F_x$ , условие запишется:

$$F_x(r-h) \geq F_y(r^2 - a^2)^{1/2},$$

$$F_x \geq \frac{F_y(r^2 - a^2)^{0,5}}{r-h} \quad (9)$$

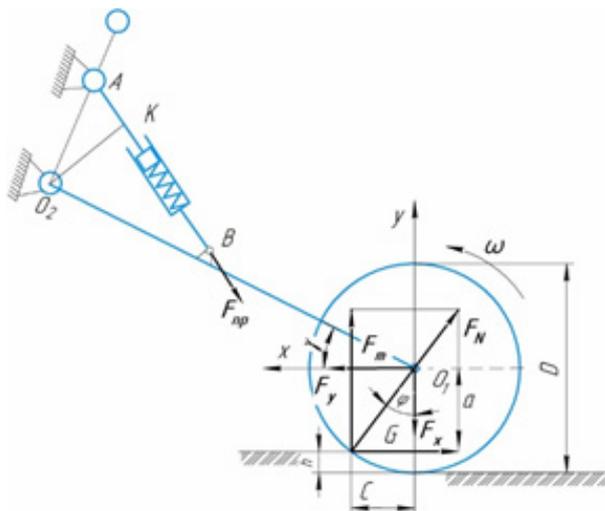


Рис.3 – Схема к определению сопротивления перемещению катка  
 Fig. 3 – Scheme for determining the resistance to movement of the roller

Далее выражение (9) представим в виде:

$$F_x \geq \frac{F_y[r^2 - (r-h)^2]^{0,5}}{r-h}, \quad (10)$$

или

$$F_x \geq \frac{F_y[h(D-h)]^{0,5}}{r-h}. \quad (11)$$

С учетом работы катка и воздействия пружинного механизма (5) выражение (10) окончательно можно представить в виде:

$$F_x \geq \frac{(F_{np}l_2 - Gl_1 \cdot \cos\gamma)}{l_1(r-h)} \cos\varphi [h(D-h)]^{0,5}. \quad (12)$$

Полученное выражение объединяет силы взаимодействия катка с почвой и конструктивно-кинематические параметры катка. Указанное соотношение в дальнейшем использовали при определении параметров экспериментального катка и в планировании экспериментов для выбора значимых факторов, оказывающих влияние на параметры оптимизации.

Для проверки полученных параметров катка и механизма его регулирования, реализованных в конструкции комбинированного культиватора, нами в почвенном канале на кафедре мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А.И. Лещанкина института механики и энергетики МГУ им. Н.П. Огарева были проведены лабораторные исследования. С их помощью удалось провести полный факторный эксперимент по уточнению параметров катка и механизма его подвески с учетом параметров оптимизации по тяговому сопротивлению и качеству крошения почвы. Чтобы получить качественные показатели работы при различных вариантах факторного пространства: глубины обработки  $x_1$ , давления катка  $x_2$  и плотности почвы  $x_3$ , следовало уточнить полученные конструктивно-технологические параметры катка комбинированного культиватора.

#### Результаты исследований и их обсуждение

При рассмотрении каждого параметра оптимизации уровни факторов подобраны таким образом, чтобы их оптимальные значения, полученные теоретически и с учетом существующих ограничений, попадали в центр интервала варьирования. Проанализируем результаты экспериментальных исследований, для которых получены уравнения регрессии параметров оптимизации.

Тяговое сопротивление. После полного факторного эксперимента типа  $2^3$  для тягового сопротивления как параметра оптимизации получено уравнение регрессии с учетом эффектов взаимодействия, представленное следующим выражением:

$$F_T = 36 + 0,75x_1 - 1,75x_2 + 1,75x_3 + 0,01x_1 x_2 + 0,01x_1 x_3 + 0,01x_2 x_3 + 0,25x_1 x_2 x_3. \quad (13)$$

Так как  $F_{расч} \leq F_{табл}$ , модель адекватна, то есть пригодна для описания реального объекта исследования.

Из уравнения видно, что наибольшее влияние на тяговое сопротивление оказывает значение давления катка ( $x_2 = 1,75$ ) и плотность почвы ( $x_3 = 1,75$ ), наименьшее – глубина обработки ( $x_1 = 0,75$ ).

Оптимальные условия работы комбинированного культиватора определяли по результатам полученных зависимостей тягового сопротивления от глубины обработки почвы, давления катка и плотности почвы.

Рациональные значения параметров комбинированного культиватора с механизмом регулиро-



вания катка наиболее наглядно представлены на диаграмме маргинальных средних с доверительными интервалами 95 % (рис. 4).

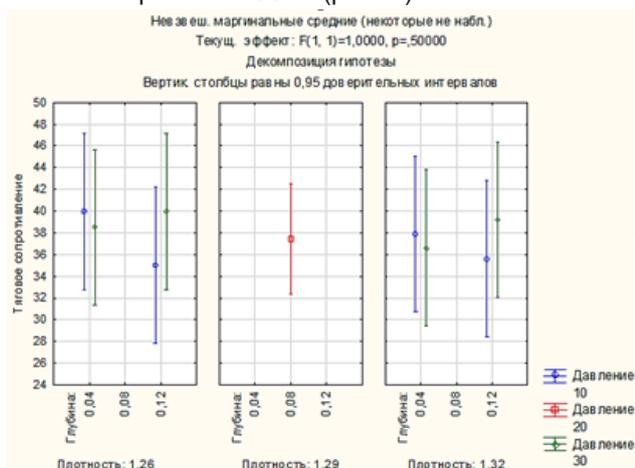


Рис. 4 – Диаграмма маргинальных средних с доверительными интервалами 95 % для тягового сопротивления  
Fig. 4 – Marginal means chart with 95% confidence intervals for traction resistance

На основании данных рисунка 4 можно сделать вывод, что оптимальный показатель тягового сопротивления после прохода адаптивного комбинированного культиватора будет равен  $F_T=37,7$  кН. Оптимальные показатели, при которых обеспечивается минимальное тяговое сопротивление, составляют: глубина обработки  $h=0,04$  м, давление катка  $Q=0,2$  кН/м и плотность почвы  $\rho=1,29$  г/см³.

**Крошение почвы.** По итогам полного факторного эксперимента типа  $2^3$  качество крошения почвы как параметра оптимизации в уравнении регрессии с учетом эффектов взаимодействия представлено следующим выражением:

$$C_{кр} = 83,06 + 3,44x_1 - 2,14x_2 - 2,21x_3 - 0,79x_1x_2 - 0,23x_1x_3 - 1,36x_2x_3 + 0,14x_1x_2x_3 \quad (14)$$

Получено, что  $F_{расч} \leq F_{табл}$ , поэтому модель адекватна, то есть пригодна для описания реального объекта исследования. Наибольшее влияние на качество крошения оказывают глубина обработки ( $x_1=3,44$ ) и плотности почвы ( $x_3=2,21$ ), наименьшее – давление катка ( $x_2=2,14$ ).

Оптимальные условия работы адаптивного комбинированного культиватора определяли по полученным моделям с учетом зависимости качества крошения почвы от глубины обработки почвы, давления катка и плотности почвы.

Полученные рациональные значения параметров комбинированного культиватора с механизмом регулирования катка наиболее наглядно представлены на диаграмме маргинальных средних с доверительными интервалами 95 % (рис. 5).

Маргинальные средние значения параметров лежат в пределах области эксперимента. На основании данных рисунка 5 можно сделать вывод, что оптимальный показатель крошения почвы после прохода адаптивного комбинированного культиватора будет равным  $C_{кр}=88,3$  %. На основании

оптимизации параметров и режимов работы адаптивного комбинированного культиватора методом планирования полного факторного эксперимента установлено, что центр эксперимента лежит в пределах области оптимума. Оптимальные показатели, при которых обеспечивается наибольшее крошение почвы, составляют: глубина обработки  $h=0,04$  м, давление катка  $Q=0,2$  кН/м и плотность почвы  $\rho=1,29$  г/см³.

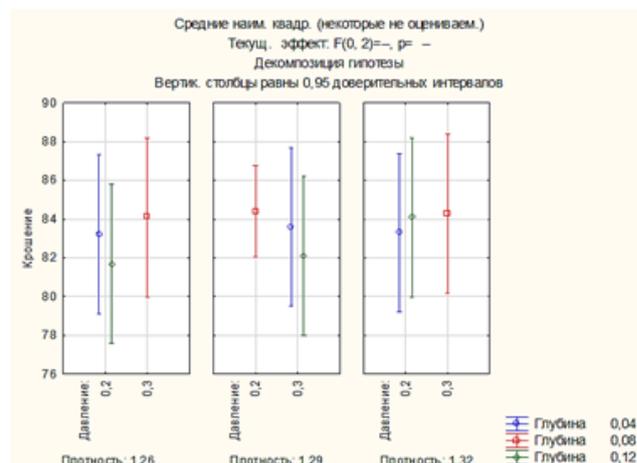


Рис. 5 – Диаграмма маргинальных средних с доверительными интервалами 95 % для крошения почвы  
Fig. 5 – Marginal means chart with 95% confidence intervals for crumbling soil

### Заключение

Эксперименты показали, что применение в конструкции культиватора механизма регулирования жесткости подвески катка обеспечивает высокую эффективность выполнения всего комплекса взаимно дополняющих технологических операций с выполнением агротехнических требований. Результаты исследований послужили основанием для введения в конструкцию адаптивного комбинированного культиватора механизма регулирования жесткости пружины подвески катка; разработанная его оригинальная конструкция.

В процессе исследований достоверно получено улучшение качества обработки почвы в зависимости от почвенных условий. Полученные результаты послужили основанием для создания дополнительного устройства для автоматического управления параметрами изменения глубины обработки почвы и давления катка комбинированного культиватора в зависимости от плотности почвы. Конструкция предлагаемого адаптивного комбинированного культиватора защищена патентом на изобретение РФ № 2 771 621 [9].

### Список источников

1. Чаткин, М.Н. Комбинированные культиваторы для дифференцированной обработки почвы в системе точного земледелия / М.Н. Чаткин, С.Е. Федоров, М.В. Бычков, А.А. Жалнин, Н.С. Базаркин // Сельский механизатор. – 2022. – № 12. – С. 2–3. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50006255>.
2. Чаткин, М.Н. Оценка эффективности по-



чвообрабатывающего комбинированного культиватора. / М.Н. Чаткин, С.Е. Федоров, А.А. Жалнин, М.В. Бычков // Инженерные технологии и системы. – 2022. – Т. 32. – № 4. – С. 539-551. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49952722>.

3. Курдюмов, В.И. Теоретические и экспериментальные исследования почвообрабатывающего катка / В.И. Курдюмов, Е.Н. Прошкин, И.А. Шаронов, С.А. Сутягин, В.Е. Прошкин // Вестник АПК Ставрополя. – 2018. – № 4. – С. 12-17. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36958391>.

4. Коржов, С. И. Обработка почвы в ЦЧР: учебное пособие / С. И. Коржов. – Воронеж: Изд-во Воронежского ГАУ, 2012. – 199 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19518432>.

5. Капустин, В. П. Сельскохозяйственные машины: учеб. пособие / В. П. Капустин, Ю. Е. Глазков. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 280 с. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/984031>.

6. Клочков, А. П. Устройство сельскохозяйственных машин: учебное пособие / А. В. Клочков, П. М. Новицкий. – М.: РИПО, 2016. – 431 с. – URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=949582>.

7. Вилде, А. А. Исследование работы, тягового сопротивления и изыскание рациональной конструкции копающих рабочих органов свеклоуборочных машин: автореферат дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Латв. с.-х. акад. – Елгава, 1964. – 29 с. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006115530>.

8. Вилде, А. А. Комбинированные почвообрабатывающие машины / А. А. Вилде, А. Х. Цесниекс. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 128 с. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001302641>.

9. Кормановский, Л. П. Машинная низкзатратная и энергосберегающая технология производства зерна с ограниченным применением средств химизации в центральных районах / Л. П. Кормановский, Н. В. Краснощеков, В. И. Анискин, В. П. Елизаров, П. Н. Бурченко, Ю. И. Кузнецов и др. – М.: 1999. – 96 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24779344>.

10. Комбинированный культиватор. Чаткин М.Н., Федоров С.Е., Жалнин А.А., Жалнин Н.А., Бычков М.В. Патент на изобретение 2771621 С1, 11.05.2022. Заявка № 2021135807 от 06.12.2021. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48494475>

*Вклад авторов:*

*Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

#### References

1. ChAtkin, M.N. *Kombinirovannyye kul'tivatory dlya differencirovannoy obrabotki pochvy v sisteme tochnogo zemledeliya* / M.N. ChAtkin, S.E. Fedorov, M.V. Bychkov, A.A. ZHalnin, N.S. Bazarkin // *Sel'skiy mekhanizator*. – 2022. – № 12. – С. 2–3. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50006255>.

2. ChAtkin, M.N. *Ocenka effektivnosti pochvoobrabatyvayushchego kombinirovannogo kul'tivatora*. / M.N. ChAtkin, S.E. Fedorov, A.A. ZHalnin, M.V. Bychkov // *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. – 2022. – Т. 32. – № 4. – С. 539-551. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49952722>.

3. Kurdyumov, V.I. *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya pochvoobrabatyvayushchego katka* / V.I. Kurdyumov, E.N. Proshkin, I.A. SHaronov, S.A. Sutyagin, V.E. Proshkin // *Vestnik APK Stavropol'ya*. – 2018. – № 4. – С. 12-17. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36958391>.

4. Korzhov, S. I. *Obrabotka pochvy v CCHR: uchebnoe posobie* / S. I. Korzhov. – Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo GAU, 2012. – 199 s. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19518432>.

5. Kapustin, V. P. *Sel'skokozyajstvennyye mashiny: ucheb. posobie* / V. P. Kapustin, YU. E. Glazkov. – М.: INFRA-M, 2017. – 280 s. – URL: <http://znanium.com/catalog/product/984031>.

6. Klochkov, A. P. *Ustrojstvo sel'skokozyajstvennyh mashin: uchebnoe posobie* / A. V. Klochkov, P. M. Novickij. – М.: RIPO, 2016. – 431 s. – URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=949582>.

7. Vilde, A. A. *Issledovanie raboty, tyagovogo soprotivleniya i izyskanie racional'noj konstrukcii kopayushchih rabochih organov sveklouborochnyh mashin: avtoreferat dis. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhn. nauk / Latv. s.-h. akad.* – Elgava, 1964. – 29 s. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006115530>.

8. Vilde, A. A. *Kombinirovannyye pochvoobrabatyvayushchie mashiny* / A. A. Vilde, A. H. Cesnieks. – L.: Agropromizdat, 1986. – 128 s. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001302641>.

9. Kormanovskij, L. P. *Mashinnaya nizkozatratnaya i energosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva zerna s ogranichenным primeneniem sredstv himizacii v central'nyh rajonah* / L. P. Kormanovskij, N. V. Krasnoshchekov, V. I. Aniskin, V. P. Elizarov, P. N. Burchenko, YU. I. Kuznecov i dr. – М.: 1999. – 96 s. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24779344>.

10. *Kombinirovannyj kul'tivator*. ChAtkin M.N., Fedorov S.E., ZHalnin A.A., ZHalnin N.A., Bychkov M.V. *Patent na izobretenie 2771621 C1, 11.05.2022. Zayavka № 2021135807 ot 06.12.2021.* – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48494475>.

*Contribution of the authors:*

*All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*



### Информация об авторах

**Чаткин Михаил Николаевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А.И. Лещанкина, Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, [chatkinm@yandex.ru](mailto:chatkinm@yandex.ru)

**Федоров Сергей Евгеньевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А.И. Лещанкина, Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, [seregafedorov1989@mail.ru](mailto:seregafedorov1989@mail.ru)

**Жалнин Алексей Александрович**, препод. кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин им. профессора А.И. Лещанкина, Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, [alekseisxm@yandex.ru](mailto:alekseisxm@yandex.ru)

### Author information

**Chatkin Mikhail N.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A.I. Leshchankin, N.P. Ogarev Mordovian State University, [chatkinm@yandex.ru](mailto:chatkinm@yandex.ru)

**Fedorov Sergey E.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A.I. Leshchankin, N.P. Ogarev Mordovian State University, [seregafedorov1989@mail.ru](mailto:seregafedorov1989@mail.ru)

**Zhalnin Alexey A.**, Lecturer of the Department of Mobile Energy Means and Agricultural Machines named after Professor A.I. Leshchankin, N.P. Ogarev Mordovian State University, [alekseisxm@yandex.ru](mailto:alekseisxm@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 27.09.2023; одобрена после рецензирования 10.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 27.09.2023; approved after reviewing 10.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 629.3  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.46.98.022

**ВЛИЯНИЕ ИСКРОВОГО ЗАЗОРА СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

**Александр Владимирович Шемякин <sup>1</sup>, Иван Васильевич Фадеев <sup>2</sup>✉, Олег Владимирович Филюшин <sup>3</sup>, Иван Александрович Юхин <sup>4</sup>, Виталий Вадимович Ильин <sup>5</sup>**

<sup>1,3,4</sup> Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

<sup>2</sup> Чувашский государственный педагогический университет имени И. Я. Яковлева, г. Чебоксары, Россия

<sup>5</sup> Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия

<sup>1</sup> avtodor-dec@mail.ru

<sup>2</sup> ivan-fadeev-2012@mail.ru

<sup>3</sup> olegfi93l@mail.ru

<sup>4</sup> yuival@rambler.ru

<sup>5</sup> vitaliy-iljin14@rambler.ru

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Для достижения поставленной цели проведены стендовые испытания двигателя на определение его мощности и крутящего момента на колесе при различных значениях искрового зазора свечи зажигания. В результате определена оптимальная величина зазора свечи, при которой испытуемый двигатель имеет максимальные динамические характеристики.

**Методология.** Для определения влияния изменения искрового зазора свечи на динамические параметры двигателя нами были проведены стендовые испытания двигателя ВАЗ 2112 при зазорах свечи от 0,3 до 1,8 мм с интервалом через 0,1 мм на стенде Cartec 2020 LPS 4WD по условиям, определенным ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные Методы стендовых испытаний». При проведении испытаний были использованы новые свечи NGK BCPR6E-11. В ходе испытаний в режиме  $P_{\max}$  автомобиль разогнался на прямой передаче до максимально возможной скорости. После достижения предварительно заданного порогового значения скорости, стенд начинает оказывать сопротивление вращению колёс, имитируя реальные дорожные условия движения автомобиля. Измеренные в режиме  $P_{\max}$  значения представлены в виде графиков изменения мощности и крутящего момента.

**Результаты.** С повышением искрового зазора свечи зажигания от 0,3 мм и больше мощность двигателя и крутящий момент на колесе плавно увеличиваются, достигая своих максимумов 97,2 л.с. и 290,3 Н·м соответственно при величине зазора 1,5 мм. При дальнейшем увеличении зазора происходит ухудшение динамических параметров двигателя. Это свидетельствует о том, что наилучшие динамические параметры двигатель имеет при величине межэлектродного зазора свечи, равной 1,5 мм, которая является оптимальной для двигателя ВАЗ-2112. Очевидно, при таком зазоре свечи между электродами образуется устойчивая длинная искра, способствующая наиболее полному сгоранию рабочей смеси, следовательно, и повышению динамических параметров двигателя.

**Заключение.** Определен оптимальный размер межэлектродного зазора свечи зажигания NGK BCPR6E-11 для двигателя ВАЗ-2112, установленного на автомобиле ВАЗ-2111, равный 1,5 мм. С таким искровым зазором двигатель имеет максимальные динамические параметры при работе со свечами маркировки BCPR6E-11.

**Ключевые слова:** мощность двигателя, крутящий момент двигателя, свеча зажигания, искровой зазор, стендовые испытания

**Для цитирования:** Шемякин А. В., Фадеев И.В., Филюшин О. В., Юхин И. А., Ильин В. В. Влияние искрового зазора свечи зажигания на динамические параметры двигателя внутреннего сгорания // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2023. Т15, №3. С 170-177 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.46.98.022>



Original article

## INFLUENCE OF THE SPARK PLUG GAP ON THE DYNAMIC PARAMETERS OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

**Alexandr V. Shemyakin <sup>1</sup>, Ivan V. Fadeev <sup>2</sup>✉, Oleg V. Filyushin <sup>3</sup>, Ivan A. Yukhin <sup>4</sup>, Vitaly V. Ilyin <sup>5</sup>**

<sup>1,3,4</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

<sup>2</sup> Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev, Cheboksary, Russia

<sup>5</sup> Kazan National Research Technical University A. N. Tupolev - KAI, Kazan, Russia

<sup>1</sup> avtodor-dec@mail.ru

<sup>2</sup> ivan-fadeev-2012@mail.ru

<sup>3</sup> olegfi93l@mail.ru

<sup>4</sup> yuival@rambler.ru

<sup>5</sup> vitaliy-iljin14@rambler.ru

### Abstract.

**Problem and purpose.** To achieve this goal, bench tests of the engine were carried out to determine its power and torque on the wheel at various values of the spark gap of the spark plug. As a result, the optimal value of the spark plug gap was determined, at which the tested engine has maximum dynamic characteristics.

**Methods.** To determine the effect of changing the spark plug gap on the dynamic parameters of the engine, we carried out bench tests of the VAZ 2112 engine with spark plug gaps from 0.3 to 1.8 mm with an interval of 0.1 mm on the Cartec 2020 LPS 4WD stand under the conditions defined by GOST 14846-81 "Automobile engines Bench test methods". During the tests, new NGK BCPR6E-11 spark plugs were used. During tests in Pmax mode, the car accelerated in direct gear to the maximum possible speed. After reaching the pre-set threshold speed, the stand begins to resist the rotation of the wheels, simulating the real road conditions of the car. The values measured in the Pmax mode are presented in the form of power and torque curves.

**Results.** With an increase in the spark gap of the spark plug from 0.3 mm or more, engine power and torque on the wheel increase smoothly, reaching their maximums of 97.2 hp. and 290.3 Nm, respectively, with a gap of 1.5 mm. With a further increase in the gap, the dynamic parameters of the engine deteriorate. This indicates that the engine has the best dynamic parameters when the electrode gap of the spark plug is 1.5 mm, which is optimal for the VAZ-2112 engine. Obviously, with such a spark plug gap between the electrodes, a stable long spark is formed, which contributes to the most complete combustion of the working mixture, and, consequently, to an increase in the dynamic parameters of the engine.

**Conclusion.** The optimal size of the interelectrode gap of the NGK BCPR6E-11 spark plug for the VAZ-2112 engine installed on the VAZ-2111 car was determined, equal to 1.5 mm. With such a spark gap, the engine has maximum dynamic parameters when working with candles marked BCPR6E-11.

**Key words:** engine power, engine torque, spark plug, spark gap, bench tests

**For citation:** Shemyakin A.V., Fadeev I.V., Yukhin I.A., Ilyin V.V. Influence of the spark plug gap on the dynamic parameters of the internal combustion engine. Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol.15, No 3. P 170-177 (in Russ.). <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.46.98.022>

### Введение

К динамическим параметрам двигателя внутреннего сгорания относятся его мощность и крутящий момент [1].

Мощность двигателя является одной из основных характеристик автомобиля. Под мощностью понимается физическая величина, показывающая объем работы, совершаемой двигателем за единицу времени [2].

При вращательном движении она определяется по формуле (1), то есть как произведение крутящего момента на угловую скорость вращения коленчатого вала, измеряется в лошадиных силах (л.с.) или в кВт [3].

$$P = M_{кр} \cdot \omega = \frac{2\pi \cdot M \cdot n}{60}, \quad (1)$$

где P – мощность двигателя, кВт;

$M_{кр}$  – крутящий момент, Н·м;

$\omega$  – угловая скорость вращения вала, рад/с;

n – частота вращения, об/мин.;

$\pi$  – математическая постоянная, равная отношению длины окружности к её диаметру (3,14...).

Из формулы (1) видно, что мощность можно увеличить, повышая крутящий момент, или частоту вращения коленчатого вала.

Увеличение частоты вращения коленчатого вала неизбежно повышает силы инерции подвижных деталей двигателя, что может привести к их разрушению [4], поэтому этот вариант может быть применим в ограниченных пределах.

Увеличение мощности двигателя в основном решается повышением крутящего момента, которого, в свою очередь, можно добиться увеличением плеча рычага (расстояния между осями корен-



ных и шатунных шеек), либо увеличением силы давления отработавших газов на поршень [5].

Увеличение плеча рычага требует увеличения габаритных размеров двигателя, что не всегда допустимо, поэтому основным способом повышения мощности двигателя является увеличение силы давления отработавших газов на поршень. Этот способ может быть реализован двумя путями: увеличением расхода топлива или более эффективным его использованием [6].

Составляющими, которые влияют на мощность (крутящий момент) двигателя, являются его рабочий объем, объем камеры сгорания, степень сжатия, рабочий ход поршня, продувка цилиндров, зависящая от числа впускных и выпускных клапанов, а также времени их открытия, вид топлива, состав топливно-воздушной смеси при различных режимах нагрузки, угол опережения зажигания, качество искры и фронт пламени в бензиновых двигателях и другие [7].

Качество искры и фронт пламени в бензиновых двигателях во многом зависят от работы системы зажигания, которая является одной из наиболее важных систем каждого двигателя с искровым зажиганием. За генерацию искры в цилиндрах двигателя отвечают искровые свечи, которые используются во всех типах системы зажигания: контактной, бесконтактной и электронной [8].

Свечи зажигания представляет собой керамическую трубку с центральным и боковым электродами, характеризуются размером, калильным числом, по количеству электродов и по материалу изготовления.

К размерным характеристикам свечи зажигания относятся [9]:

- диаметр резьбы (у автомобильных свечей в основном 14 мм);
- длина резьбовой части (короткие – 12 мм, средние – 19-20 мм, длинные – 25 мм и более);
- размер головки ключа для вкручивания (в основном 16 мм, реже – 14 и 18 мм);
- зазор между электродами (в пределах 0,5 мм – 2,0 мм, но наиболее распространенный – 0,8 или 1,1 мм).

Длина резьбовой части свечи зависит от мощности двигателя: чем мощнее двигатель, тем длиннее резьбовая часть свечи. Такая конструкция свечи объясняется тем, что температура по удлиненной резьбовой части распределяется быстрее и равномернее.

Калильное число указывает на температуру работы свечи, при которой возникает калильное зажигание; чем калильное число выше, тем при более высоких температурах может работать свеча [10].

По калильному числу (к. ч.) свечи делятся на три типа:

- холодные (к. ч. от 20 и выше);
- горячие (к. ч. 11 до 14);
- средние (к. ч. от 17 до 19).

Расстояние между центральным и боковым электродами свечи зажигания, называемое искровым или межэлектродным зазором, является

одним из основных факторов, влияющих на динамические параметры двигателя внутреннего сгорания. Если установить искровой зазор больше, то между электродами образуется искра длиннее, способствующая лучшему сгоранию рабочей смеси и повышению мощности двигателя. Однако увеличение межэлектродного зазора осложняет создание в нём искры и повышает риск, что электрический ток найдёт себе другой путь: может «пробить» изолятор свечи, высоковольтный провод или катушку зажигания, поэтому величина искрового зазора всегда требует тщательного расчета [11, 12].

В процессе эксплуатации двигателя электроды свечей зажигания подвержены коррозии [13, 14] и изнашиваются, вследствие чего межэлектродный зазор постепенно увеличивается, повышая нагрузку на катушку зажигания и снижая мощность двигателя, что обуславливает актуальность исследований, приведенных в настоящей работе.

Цель работы: определение оптимального размера межэлектродного зазора свечи зажигания для получения максимальных динамических параметров двигателя.

#### Материалы и методы исследования

Для определения влияния изменения искрового зазора свечи на динамические параметры двигателя нами были проведены замеры мощности двигателя ВАЗ 2112 (рабочий объем 1,5 литра, 16-клапанная головка блока цилиндров), установленного на автомобиле ВАЗ 2111. Для этого использовался стенд Cartec 2020 LPS 4WD, графики внешней скоростной характеристики двигателя были приведены к стандарту ISO 1585.

При проведении стендовых испытаний двигателя выполнялись условия, определяемые ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные Методы стендовых испытаний»:

- испытываемый двигатель и применяемые эксплуатационные материалы должны соответствовать техническим условиям;
- температура окружающего двигателя воздуха в процессе испытаний не должна превышать +40° С;
- замеры параметров двигателя должны проводиться при установившемся режиме работы, при котором вращающий момент, частота вращения, температура охлаждающей жидкости и масла за время измерения изменяются не более чем на ±2 %;
- продолжительность опытов должна быть не менее 30 секунд.

Принцип действия стенда заключается в задании стендом известной постоянной нагрузки испытуемому автомобилю с помощью электродинамических тормозов (ЭДТ) при постоянной скорости вращения ведущих колес автомобиля. Сигналы с датчика числа оборотов роликов поступают в процессор электронной системы, где происходит вычисление линейной скорости движения автомобиля. Одновременно вращение роликов передается на ротор ЭДТ, вращение которого наводит вихревые токи в обмотке статора, и соответству-



ющие этим токам электромагнитные силы создают усилие на динамометре. Сила воздействия на динамометр служит для определения тягового усилия ведущих колес при заданной скорости движения. На основании измерений тягового усилия и линейной скорости движения электронная система определяет мощность двигателя испытуемого автомобиля.

В ходе испытаний в режиме Pmax автомобиль разгонялся на прямой передаче до максимально возможной скорости. После достижения заданного предварительно порогового значения скорости стенд начинает оказывать сопротивление вращению колёс, имитируя реальные дорожные условия движения автомобиля. Измеренные в режиме Pmax значения представлены в виде кривых мощности и крутящего момента.

Для проведения данных испытаний были использованы новые свечи NGK BCPR6E-11, так как они являются наиболее используемыми на автомобилях данного класса.

Комбинация из букв и цифр в маркировке свечи зажигания фирмы NGK имеет следующий вид:

- BC – диаметр резьбы / шестигранник – 14 / 16 мм;
- P – структура – с выступающим изолятором;
- R – с помехоподавляющим резистором;
- 6 – калильное число;
- E – длина резьбы 19 мм;
- 11 – межэлектродный зазор 1,1 мм.

В ходе испытаний межэлектродный зазор свечей менялся через каждые 0,1 мм в пределах от 0,3 до 1,8 мм, проверка зазора проводилась с помощью щупов, затяжка свеч производилась

динамометрическим ключом до момента усилия 25 Нм.

Для каждого зазора свечи с целью получения более достоверных значений проводились трехкратные испытания, результаты которых усреднялись. Испытания проводили при рабочей температуре двигателя, контроль которой производился в обязательном порядке в момент начала замера и в момент начала выбега. Для имитации набегающего потока воздуха с целью эффективного охлаждения использовался вентилятор. Стенд имеет доступ к свежему воздуху с улицы, то есть вентилятор направляет на радиатор и в воздушный фильтр автомобиля воздух с улицы, а не из помещения.

Перед началом испытаний произвели визуальный осмотр цилиндропоршневой группы, клапанов и седел с помощью эндоскопа, заменили масло в системе смазки на масло Sintec Platinum с классом вязкости 5W-40, замерили компрессию в цилиндрах (11,5-12 бар), давление масла в системе смазки (2-5 бар).

#### Результаты исследований и их обсуждение

Для реализации цели работы проведены стендовые испытания двигателя с замером мощности двигателя и крутящего момента при 16 различных значениях искрового зазора свечи зажигания от 0,3 до 1,8 мм. Результаты испытаний получены в виде 16 графиков. В качестве примера на рисунке 1 представлен один из таких графиков при значении искрового зазора свечи зажигания 1,0 мм.

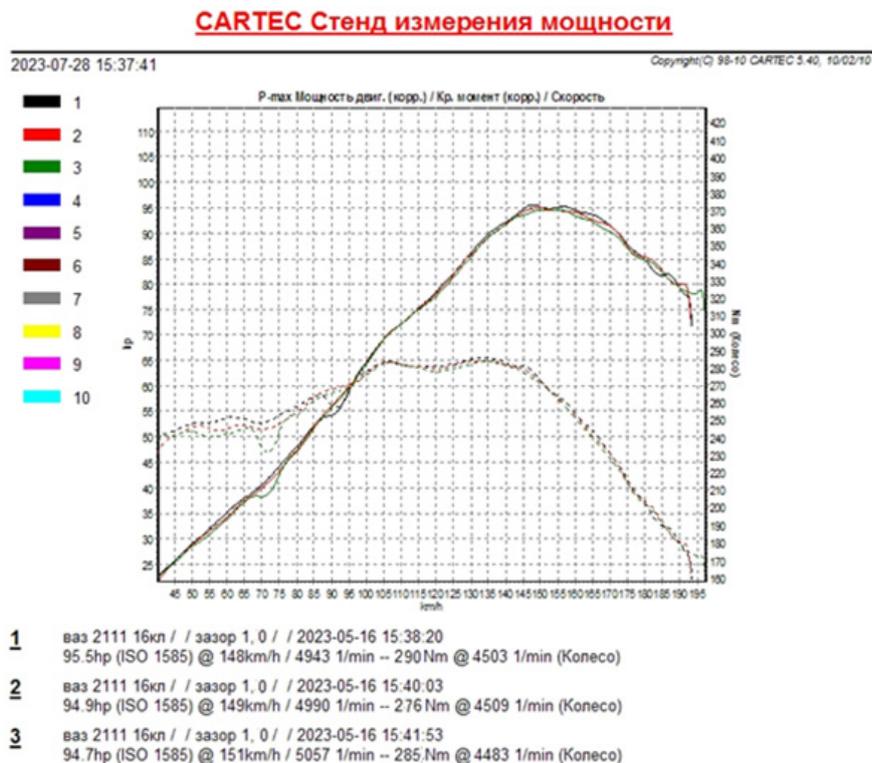


Рис. 1 – Графики динамических параметров двигателя при значении искрового зазора свечи зажигания 1,0 мм

Fig. 1 - Graphs of the dynamic parameters of the engine with a spark plug gap value of 1.0 mm



В работе результаты испытаний представлены в виде таблицы (табл. 1). Для наглядности влияние искрового зазора свечи зажигания на динамические параметры двигателя показано на рисунке 2.

Таблица 1 – Результаты замера мощности двигателя и крутящего момента на колесе при различных значениях искрового зазора свечи зажигания

Величина искрового зазора, мм	Мощность двигателя, л.с.	Среднее значение мощности по трем замерам, л.с.	Крутящий момент на колесе, Н·м	Среднее значение крутящего момента на колесе по трем замерам, Н·м	Скорость автомобиля, км/ч	Среднее значение скорости автомобиля, км/ч
0,3	91,7	91,0	268	271	150	153
	90,3		273		156	
	91,1		272		153	
0,4	93,9	91,4	277	273,6	150	153,3
	89,3		268		155	
	91,2		276		155	
0,5	93,7	92,7	279	276,6	154	156,6
	91,6		274		160	
	92,9		277		156	
0,6	92,0	93,6	277	279	152	152
	92,8		278		153	
	94,7		282		151	
0,7	93,6	93,7	282	279,3	155	155,3
	93,4		281		158	
	94,3		275		153	
0,8	94,6	94,3	281	282	155	154
	94,5		284		151	
	94,0		281		156	
0,9	95,8	94,6	285	283	152	154
	93,3		281		155	
	94,9		283		155	
1,0	95,5	95,0	290	283,6	148	149,3
	94,9		276		149	
	94,7		285		151	
1,1	94,7	95,3	286	284	159	154,6
	95,8		283		155	
	95,6		283		150	
1,2	95,2	95,3	284	284,3	148	151
	95,4		285		155	
	95,5		284		150	
1,3	94,3	95,7	286	286	153	153
	96,8		286		154	
	96,2		286		152	
1,4	95,6	95,9	285	286	155	154
	96,3		286		157	
	95,9		287		150	
1,5	98,0	97,2	293	290,3	153	152,6
	97,2		291		155	
	96,6		287		150	
1,6	96,0	95,0	289	286	154	152,6
	95,8		284		154	
	93,2		285		150	
1,7	94,0	94,3	281	282,3	152	153,3
	93,6		284		155	
	95,5		282		153	
1,8	93,3	94,1	274	276,6	154	153,3
	96,1		273		151	
	93,0		283		155	

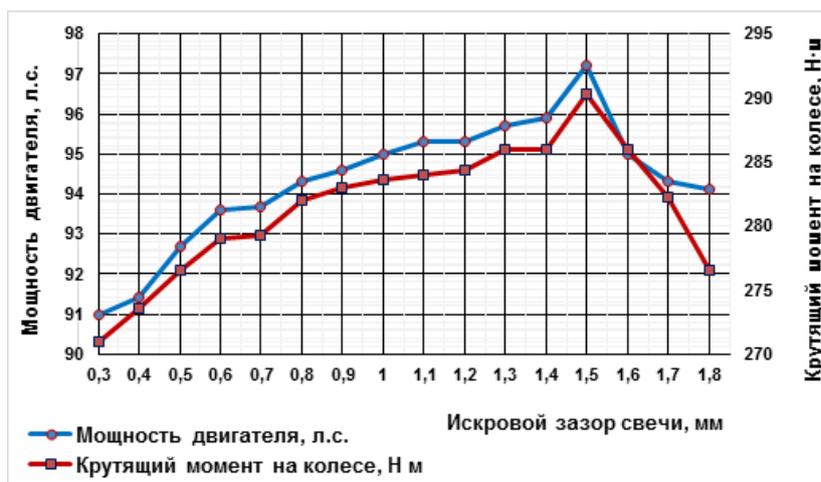


Рис. 2 – Влияние величины искрового зазора свечи зажигания на мощность двигателя и крутящий момент на колесе

Fig. 2 - Influence of spark plug spark gap on engine power and torque on the wheel

Из таблицы 1 и рисунка 2 видно, что с повышением искрового зазора свечи зажигания от 0,3 мм и больше мощность двигателя и крутящий момент на колесе плавно увеличиваются, достигая своих максимумов 97,2 л.с. и 290,3 Н·м соответственно при величине зазора 1,5 мм. При дальнейшем увеличении зазора происходит ухудшение динамических параметров двигателя. Это свидетельствует о том, что наилучшие динамические параметры двигатель имеет при величине межэлектродного зазора свечи, равной 1,5 мм, которая является оптимальной для двигателя ВАЗ-2112. Очевидно, при таком зазоре свечи между электродами образуется устойчивая длинная искра, способствующая наиболее полному сгоранию рабочей смеси, следовательно, и повышению динамических параметров двигателя.

#### Заключение

Определен оптимальный размер межэлектродного зазора свечи зажигания NGK BCPR6E-11 для двигателя ВАЗ-2112, установленного на автомобиле ВАЗ-2111, равный 1,5 мм. С таким искровым зазором двигатель имеет максимальные динамические параметры при работе со свечами маркировки BCPR6E-11, в то время как производитель рекомендует искровой зазор, равный 1,1 мм.

#### Список источников

1. Францев, С.М. Исследование длительности и энергии искрового разряда транзисторной системы зажигания на нагрузочном режиме работы двигателя / С.М. Францев, А.Ю. Кавторев // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 1. Ч.2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2842](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2842).
2. Николаев, П.А. Исследование динамики разрядных процессов в системе зажигания ДВС и излучаемых радиопомех / П.А. Николаев // Автомобильная промышленность. – 2006. – №5. – С.13-15.
3. Францев, С.М. Обеспечение бесперебойности искрообразования в межэлектродном зазоре свечи зажигания / С.М. Францев, А.Ю. Кавторев // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 4 (23). URL: [naukovedenie.ru/PDF/34TVN314.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/34TVN314.pdf).

4. Мациборко, В.В. Исследование устройств регистрации ионного тока в камере сгорания / В.В. Мациборко, А.Ю. Будко, А.Л. Береснев, М.А. Мациборко // «Инженерный вестник Дона». – 2014. – №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2611](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2611).

5. Фадеев, И.В. Новые боратсодержащие присадки к моющим средствам для узлов и агрегатов транспортных средств / И.В. Фадеев, А.Н. Ременцов, Ш.В. Садетдинов // Автотранспортное предприятие. – 2015. – № 2. – С. 46-50.

6. Lorne E, Kenneth C. The effect of enhanced ignition on the burning characteristics of methane-air mixtures // Combustion and flame, 2002. – № 54. – pp. 183–193.

7. Успенский, И.А. Новые ингибиторы коррозии для защиты сельскохозяйственной техники / И.А. Успенский, И.В. Фадеев, Л.Ш. Пестряева, Ш.В. Садетдинов, А.С. Казарин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 3 (59). – С. 365 – 376.

8. Францев, С.М. Исследование характеристики выделения энергии в межэлектродном зазоре свечи зажигания на холостом ходу двигателя / С.М. Францев, А.Ю. Кавторев // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2863](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2863).

9. Фадеев, И.В. Моющие и противокоррозионные свойства синтетических моющих средств для узлов и деталей транспортных средств в присутствии некоторых боратов / И.В. Фадеев, А.Н. Ременцов, Ш.В. Садетдинов // Грузовик. – 2016. – № 6. – С. 17–20.

10. Злотин, Г.Н. Оптимизация характеристик разряда системы зажигания / Г.Н. Злотин, В.В. Малов // Автомобильная промышленность. – 1987. – №7. – С. 21–24.

11. Николаев, П.А. Исследование параметров излучаемой помехи от режимов работы двигателя / П.А. Николаев, А.С. Фокин // Сборник научных докладов. V Международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной



экологии. – 2003. – Санкт-Петербург, ЛЭТИ. – С. 61.

12. Alekseev V.V., Philippov V.P., Fadeev I.V., Chuchkalov S.I. Automation of determining the contact angle of washing liquids wetting // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. International Conference "Information Technologies in Business and Industry". – 2019. – S. 042001.

13. Фадеев, И.В. Повышение коррозионной стойкости стали 10 / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетди-

нов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2015. – № 2 (41). – С. 107-114.

14. Фадеев, И.В. Влияние моноборатов лития, натрия, калия на моющие и противокоррозионные свойства синтетических моющих средств / И.В. Фадеев, Ш.В. Садетдинов // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 2 (34). – С. 86-90.

*Вклад авторов:*

*Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

### References

1. Frantsev, S.M. Issledovaniye dlitel'nosti i energii iskrovogo razryada tranzistornoy sistemy zazhiganiya na nagruzochnom rezhime raboty dvigatelya / S.M. Frantsev, A.YU. Kavtorev // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2015. – № 1. CH.2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2842](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2842).

2. Nikolayev, P.A. Issledovaniye dinamiki razryadnykh protsessov v sisteme zazhiganiya DVS i izluchayemykh radiopomekh / P.A. Nikolayev // Avtomobil'naya promyshlennost'. – 2006. – №5. – S.13-15.

3. Frantsev, S.M. Obespecheniye bespereboynosti iskroobrazovaniya v mezhelektroдном zazore svechi zazhiganiya / S.M. Frantsev, A.YU. Kavtorev // Internet-zhurnal «Naukovedeniye». – 2014. – № 4 (23). URL: [naukovedenie.ru/PDF/34TVN314.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/34TVN314.pdf).

4. Matsiborko, V.V. Issledovaniye ustroystv registratsii ionnogo toka v kamere sgoraniya / V.V. Matsiborko, A.YU. Budko, A.L. Beresnev, M.A. Matsiborko // «Inzhenernyy vestnik Dona». – 2014. – №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2611](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2611).

5. Fadeyev, I.V. Novyye boratsoderzhashchiye prisadki k moyushchim sredstvam dlya uzlov i agregatov transportnykh sredstv / I.V. Fadeyev, A.N. Rementsov, Sh.V. Sadetdinov // Avtotransportnoye predpriyatiye. – 2015. – № 2. – S. 46-50.

6. Lorne E, Kenneth C. The effect of enhanced ignition on the burning characteristics of methane-air mixtures // Combustion and flame, 2002. – № 54. – pp. 183–193.

7. Uspenskiy, I.A. Novyye inhibitory korrozii dlya zashchity sel'skokhozyaystvennoy tekhniki / I.A. Uspenskiy, I.V. Fadeev, L.Sh. Pestryayeva, Sh.V. Sadetdinov, A.S. Kazarin // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. – 2020. – № 3 (59). – S. 365 – 376.

8. Frantsev, S.M. Issledovaniye kharakteristiki vydeleniya energii v mezhelektroдном zazore svechi zazhiganiya na kholostom khodu dvigatelya / S.M. Frantsev, A.YU. Kavtorev // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2015. – № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2863](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2863).

9. Fadeev, I.V. Moyushchiye i protivokorroziyonnyye svoystva sinteticheskikh moyushchikh sredstv dlya uzlov i detaley v prisutstvii nekotorykh boratov / I.V. Fadeev, A.N. Rementsov, Sh.V. Sadetdinov // Gruzovik. – 2016. – № 6. – S. 17–20.

10. Zlotin, G.N. Optimizatsiya kharakteristik razryada sistemy zazhiganiya / G.N. Zlotin, V.V. Malov // Avtomobil'naya promyshlennost'. – 1987. – №7. – S. 21–24.

11. Nikolayev, P.A. Issledovaniye parametrov izluchayemoy pomekhi ot rezhimov raboty dvigatelya / P.A. Nikolayev, A.S. Fokin // Sbornik nauchnykh dokladov. V Mezhdunarodnyy simpozium po elektromagnitnoy sovmestimosti i elektromagnitnoy ekologii. – 2003. – Sankt-Peterburg, LETI. – S. 61.

12. Alekseev V.V., Philippov V.P., Fadeev I.V., Chuchkalov S.I. Automation of determining the contact angle of washing liquids wetting // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. International Conference "Information Technologies in Business and Industry". – 2019. – S. 042001.

13. Fadeyev, I.V. Povysheniye korrozionnoy stoykosti stali 10 / I.V. Fadeyev, Sh.V. Sadetdinov // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). – 2015. – № 2 (41). – S. 107-114.

14. Fadeev, I.V. Vliyaniye monoborатов litiya, natriya, kaliya na moyushchiye i protivokorroziyonnyye svoystva sinteticheskikh moyushchikh sredstv / I.V. Fadeev, Sh.V. Sadetdinov // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. – 2015. – № 2 (34). – S. 86–90.

*Contribution of the authors:*

*All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*



### Информация об авторах

**Шемякин Александр Владимирович**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации транспортных процессов и безопасности жизнедеятельности, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия, avtodor-dec@mail.ru

**Фадеев Иван Васильевич**, д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой технических дисциплин, ivan-fadeev-2012@mail.ru

**Филушин Олег Владимирович**, канд. техн. наук, ассистент кафедры технической эксплуатации транспорта, Рязанский государственный агротехнологический университет им П.А. Костычева, olegfil93@mail.ru

**Юхин Иван Александрович**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики, ivan.uspensckij@yandex.ru

**Ильин Виталий Вадимович**, магистрант Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева - КАИ, vitaliy-iljin14@rambler.ru

### Author Information

**Shemyakin Alexander V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor Department of Organization of Transport Processes and Life Safety, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia, avtodor-dec@mail.ru

**Fadeev Ivan V.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering, ivan-fadeev-2012@mail.ru

**Filushin Oleg V.**, Cand. techn. associate, assistant of the Department of technical operation of transport, Ryazan state agrotechnological University named after P. A. Kostychev, olegfi93l@mail.ru

**Yukhin Ivan A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automotive and Tractor Engineering and Thermal Power Engineering, ivan.uspensckij@yandex.ru

**Ilyin Vitaliy V.**, master student of the Kazan National Research Technical University A. N. Tupolev – KAI, vitaliy-iljin14@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 30.08.2023; одобрена после рецензирования 10.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 30.08.2023; approved after reviewing 10.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.





## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья  
УДК 631.331.53  
DOI: 10.36508/RSATU.2023.42.41.023

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОШНИКА СЕЯЛКИ

**Дмитрий Михайлович Юмаев**<sup>1</sup>✉, **Георгий Константинович Рембалович**<sup>2</sup>, **Михаил Юрьевич Костенко**<sup>3</sup>, **Александр Владимирович Шемякин**<sup>4</sup>, **Сергей Николаевич Борычев**<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

<sup>1</sup> yumaeb@yandex.ru

<sup>2</sup> rgk.rgatu@yandex.ru

<sup>3</sup> kostenko.mihail2016@yandex.ru

<sup>4</sup> shem.alex62@yandex.ru

<sup>5</sup> 89066486088@mail.ru

**Аннотация.**

**Проблема и цель.** Одним из актуальных направлений исследований является совершенствование технических средств с возможностью внесения жидких минеральных удобрений при посеве. Это позволит повысить производительность и эффективность сельскохозяйственных работ, что, в свою очередь, способствует увеличению урожайности и обеспечению продовольственной безопасности страны. Современные пропашные сеялки оснащены сошниками, оборудованными уплотнителями семян с возможностью внесения жидких удобрений непосредственно в рядок. Однако семена сельскохозяйственных культур подвергаются воздействию высококонцентрированных жидких удобрений, что приводит к их химическим ожогам и впоследствии грозит уменьшением урожайности. Цель исследования – теоретически обосновать параметры сошника сеялки для исключения прямого контакта семян и удобрений

**Результаты.** Установлено, что площадь поперечного сечения борозды определяется геометрическими размерами сошника: диаметром, углом наклона радиуса к вертикали и углом между дисками сошника. При диаметре диска 0,4 м и угле между сошниками от 5 до 7,5 градусов площадь поперечного сечения борозды одного диска находится в пределах от 0,0014 до 0,0019 м<sup>2</sup>. Площадь поперечного сечения борозды уменьшается при осыпании почвы. При расстоянии 0,025 м от нижней точки сошника до дна борозды поперечное сечение борозды, образованной двумя дисками сошника, составляет 0,0031 м<sup>2</sup>. Увеличение угла между дисками сошника способствует увеличению общей глубины борозды с учетом осыпания почвы. Чем шире борозда, тем на меньшую глубину она осыпается, но в то же время слишком сильное раскрытие борозды будет способствовать перемешиванию почвы и при её заделке возможно попадание верхних слоёв почвы вниз к семенам. Поэтому для обеспечения посева семян на глубине от 0,03 до 0,05 м рациональным значением угла между дисками будет 5 градусов. Установлено, что для обеспечения прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями необходимо часть почвы стенок борозды ссыпать на дно борозды, используя крылья уплотнителя. Таким образом, для глубины прослойки борозды 0,015 м ширина крыльев уплотнителя должна составлять 0,055 м.

**Заключение.** Для исключения ожога ростков азотным удобрением необходимо создать прослойку почвы между семенами и удобрением. Для обеспечения прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями необходимо часть почвы стенок борозды ссыпать на дно борозды, используя крылья уплотнителя сошника сеялки. Глубина прослойки почвы напрямую зависит от ширины крыльев уплотнителя.

**Ключевые слова:** сошник, осыпание почвы, глубина борозды, уплотнитель семян сошника сеялки, крылья уплотнителя семян сошника сеялки

**Для цитирования:** Юмаев, Д.М., Рембалович Г.К., Костенко М.Ю., Шемякин А.В., Борычев С.Н. Теоретическое обоснование параметров сошника сеялки // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2023. Т. 15, № 3. С.178-184 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.42.41.023/>



Original article

**THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE SEEDER COULTER****Dmitry M. Yumaev** <sup>1</sup>✉, **Rembalovich Georgy K Rembalovich** <sup>2</sup>, **Mikhail Yu. Kostenko** <sup>3</sup>, **Alexandr V. Shemyakin** <sup>4</sup>, **Sergey N. Borychev** <sup>5</sup><sup>1,2,3,4</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia<sup>1</sup> yumaeb@yandex.ru<sup>2</sup> rgk.rgatu@yandex.ru<sup>3</sup> kostenko.mihail2016@yandex.ru<sup>4</sup> shem.alex62@yandex.ru<sup>5</sup> 89066486088@mail.ru**Annotation.**

**Problem and purpose.** One of the relevant areas of research is the improvement of technical means with the possibility of applying liquid mineral fertilizers during sowing. This will increase the productivity and efficiency of agricultural work, which in turn contributes to increasing yields and ensuring food security of the country. Modern row seeders are equipped with coulters equipped with seed seals with the possibility of applying liquid fertilizers directly into the row. However, the seeds of agricultural crops are exposed to highly concentrated liquid fertilizers, which leads to their chemical burns and subsequently threatens to reduce yields. The purpose of the study is to theoretically substantiate the parameters of the seeder coulters to exclude direct contact of seeds and fertilizers.

**Results.** It is established that the cross-sectional area of the furrow is determined by the geometric dimensions of the coulters: diameter, the angle of inclination of the radius to the vertical and the angle between the discs of the coulters. With a disc diameter of 0.4 m and an angle between the coulters from 5 to 7.5 degrees, the cross-sectional area of the furrow of one disc is in the range from 0.0014 to 0.0019 m<sup>2</sup>. The cross-sectional area of the furrow decreases with soil shedding. At a distance of 0.025 m from the bottom of the coulters to the bottom of the furrow, the cross-section of the furrow formed by two discs of the coulters is 0.0031 m<sup>2</sup>. An increase in the angle between the coulters discs contributes to an increase in the overall depth of the furrow, taking into account the shedding of the soil. The wider the furrow, the lower the depth it crumbles, and at the same time, too much opening of the furrow will contribute to mixing the soil and when it is sealed, it is possible that the upper layers of the soil will fall down the furrow to the seeds. Therefore, to ensure the sowing of seeds at a depth of 0.03 to 0.05 m, the rational value of the angle between the disks will be 5 degrees. It has been established that in order to ensure a layer of soil between seeds and nitrogen fertilizers, it is necessary to pour part of the soil of the furrow walls to the bottom of the furrow using the wings of the sealer. Thus, for a furrow layer depth of 0.015 m, the width of the sealer wings should be 0.055 m.

**Conclusion.** To exclude the burning of sprouts with nitrogen fertilizer, it is necessary to create a layer of soil between the seeds and the fertilizer. To ensure a layer of soil between seeds and nitrogen fertilizers, it is necessary to pour part of the soil of the furrow walls to the bottom of the furrow using the wings of the planter sealer. The depth of the soil layer directly depends on the width of the sealer wings.

**Key words:** coulters, soil shedding, furrow depth, seed sealer of the seeder of the seeder, wings of the seed sealer of the seeder of the seeder

**For citation:** Yumaev, D.M., Rembalovich G.K., Kostenko M.Yu., Shemyakin A.V., Borychev S.N. Theoretical justification of parameters of the seeder coulters. // Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2023. Vol. 15, No. 3. P. 178-184 <https://doi.org/10.36508/RSATU.2023.42.41.023>

**Введение**

Одним из актуальных направлений исследований является совершенствование технических средств с возможностью внесения жидких минеральных удобрений при посеве. Это позволит повысить производительность и эффективность сельскохозяйственных работ, что, в свою очередь, способствует увеличению урожайности и обеспечению продовольственной безопасности страны. Современные пропашные сеялки оснащены сошниками, оборудованными уплотнителями семян с возможностью внесения жидких удобрений непосредственно в рядок [3,4]. Однако семена сельскохозяйственных культур подвергаются воздействию высококонцентрированных жидких удо-

брений, что приводит к их химическим ожогам и впоследствии грозит уменьшением урожайности. Для решения данной проблемы требуется минимизировать прямой контакт семян с высококонцентрированными удобрениями в процессе посева. Многие исследователи в своих работах подчеркивают, что контакт семян с удобрениями напрямую влияет на качество урожая [5]. В то же время снижение концентрации самих удобрений не позволит в дальнейшем семенам получить необходимое количество питательных элементов, что также приведет к изменению показателей урожайности в меньшую сторону. На основании вышесказанного было проведено исследование параметров сошника сеялки, дающих возможность



исключения прямого контакта семян и удобрений.

Цель исследования – теоретически обосновать параметры сошника сеялки для исключения прямого контакта семян и удобрений.

#### Материалы и методы исследования

Двухдисковый сошник сеялки образует борозду, стенки которой частично осыпаются на дно борозды. Так как высев семян осуществляют в задней части сошника, то семена попадают на подушку влажной почвы. Это обуславливает лучший контакт влажной почвы с поверхностью семени.

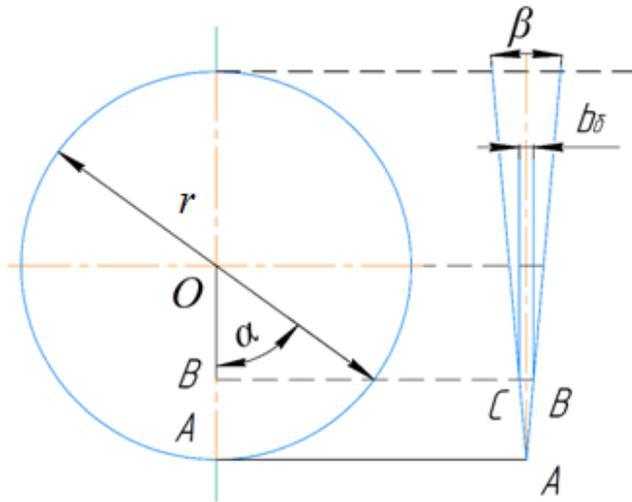


Рис.1 – Расчетная схема определения размеров борозды

Fig.1 – Calculation scheme for determining the size of the furrow

После прохода сошника происходит дальнейшее обрушение стенок борозды с частичным заделыванием семян. Размеры борозды определяются углом между дисками  $\beta$  и углом наклона радиуса к вертикали  $\alpha$ .

Для определения ширины борозды существует формула [1]

$$b_6 = 2r \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot \sin \frac{\beta}{2}$$

где  $b_6$  – ширина борозды, м;  
 $r$  – радиус дисков, м.

Дно борозды, куда укладываются семена, будет несколько выше глубины хода сошников.

$$\Delta h = \frac{b_6}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}$$

где  $\Delta h$  – расстояние от нижней точки сошника до дна борозды.

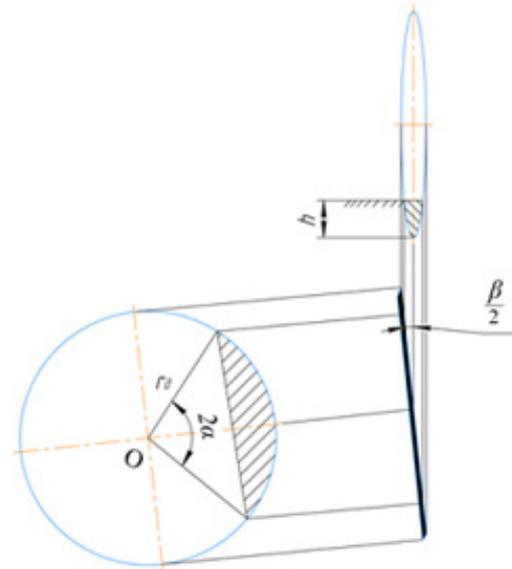


Рис.2 – Расчетная схема к определению площади поперечного сечения борозды

Fig.2 – Calculation scheme for determining the cross-sectional area of the furrow [2]

Определим объем почвы, выносимой диском из борозды

$$V_n = S_6 \cdot l \quad (3)$$

где  $V_n$  – объем почвы, смещаемой диском из борозды,  $\text{м}^3$ ;

$S_6$  – поперечная площадь борозды, образованной диском,  $\text{м}^2$ ;

$l$  – путь, пройденный диском за время смещения объема почвы, м;

Поперечная площадь борозды пропорциональна площади сегмента диска, погруженного в почву

$$S_d = \frac{1}{2} r^2 \left( \frac{\pi \cdot 2\alpha}{180^\circ} - \sin 2\alpha \right) \cdot \sin \left( \frac{\beta}{2} \right) \quad (4)$$

На основании формулы (4) в программе MathCAD рассчитали площадь поперечного сечения борозды, образованной одним диском диаметром 0,4 м сошника.

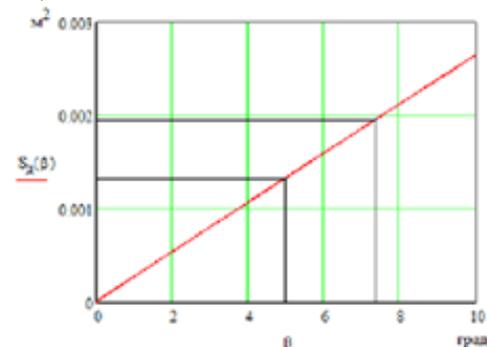


Рис.3 – Зависимость площади поперечного сечения борозды от угла между дисками

Fig.3 – Dependence of the cross-sectional area of the furrow on the angle between the disks



Установлено, что площадь поперечного сечения борозды определяется геометрическими размерами сошника: диаметром, углом наклона радиуса к вертикали и углом между дисками сошника. Анализ рисунка 3 показал, что при диаметре диска 0,4 м площадь поперечного сечения находится в пределах от 0,0014 до 0,0019 м<sup>2</sup>.

Допустив, что диск вращается без проскальзывания, путь при перемещении почвы равен:

$$l = 2r \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (5)$$

С учетом выражений (4) и (5) объем почвы, смещаемой диском из борозды:

$$V_n = r^3 \left( \frac{\pi \cdot \alpha}{90^\circ} - \sin 2\alpha \right) \cdot \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (6)$$

Тогда объем борозды при прохождении двухдискового сошника будет равен

$$V_6 = 2V_n \cdot k_{oc} \quad (7)$$

где  $k_{oc}$  – коэффициент осыпания почвы в борозду

Учитывая, что почва в борозде располагается под углом естественного откоса, определим размеры борозды

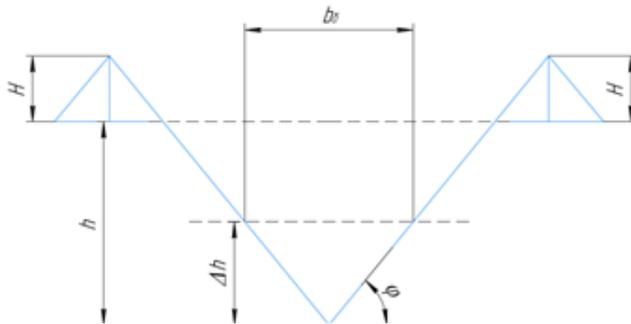


Рис.4 – Схема к определению размеров борозды  
Fig.4 – The scheme for determining the size of the furrow

Коэффициент осыпания почвы в борозду определяется соотношением

$$k_{oc} = \frac{V_{oc}}{V_6} \quad (8)$$

где  $V_{oc}$  – объем осыпавшейся почвы, м<sup>3</sup>.

Объем осыпавшейся почвы определяется глубиной осыпавшейся почвы и углом откоса:

$$V_{oc} = \Delta h^2 \cdot \tan \varphi \quad (9)$$

Общая глубина борозды определяется объемом смещаемой и осыпавшейся почвы. Для простоты расчетов рассмотрим поперечное сечение борозды без учета процесса перемещения почвы. Тогда площадь поперечного сечения дисков и поперечное сечение борозды связаны зависимостью

$$S_6 = h_6^2 \cdot \cos \varphi - \Delta h^2 \cos \varphi \quad (10)$$

С другой стороны, площадь поперечного сечения борозды равна площади сегментов двух дисков сошника, погруженных в почву

$$S_6 \approx 2S_d \quad (11)$$

Рассчитаем в программе MathCAD площадь поперечного сечения борозды с учетом осыпания почвы

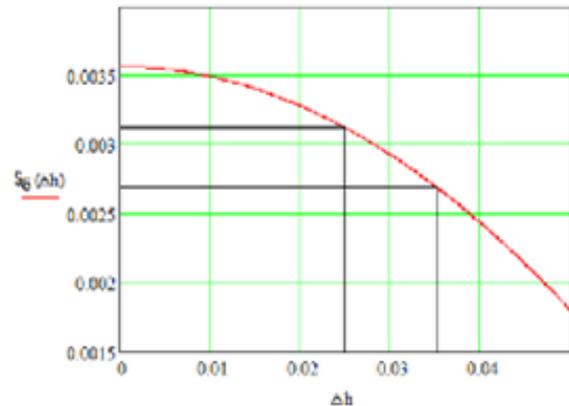


Рис.5 – Зависимость площади поперечного сечения борозды с учетом осыпания почвы

Fig.5 – Dependence of the cross-sectional area of the furrow, taking into account the shedding of the soil

Анализ рисунка 5 показал, что площадь поперечного сечения борозды уменьшается при осыпании почвы. При расстоянии 0,025 м от нижней точки сошника до дна борозды поперечное сечение борозды составляет 0,0031 м<sup>2</sup>.

Высота гребня, образованного при выемке почвы из борозды, определяется поперечным сечением борозды

$$S_6 = H^2 \cos \varphi \quad (12)$$

или

$$H = \sqrt{\frac{S_6}{\cos \varphi}} \quad (13)$$

где  $H$  – высота гребня рядом с бороздой, м.

Подставив все геометрические размеры в выражение (13), получим связь между ними:

$$H = \sqrt{h^2 - \left( \frac{b}{2 \tan \frac{\beta}{2}} \right)^2} \quad (14)$$

Общая глубина борозды:



$$h_{\text{общ}} = H + h - \Delta h = \sqrt{h^2 - \left(\frac{b_6}{2 \tan \frac{\beta}{2}}\right)^2} + h - \frac{b_6}{2 \tan \frac{\beta}{2}} \quad (15)$$

Рассчитаем в программе MathCAD общую глубину борозды с учетом угла между дисками сошника сеялки

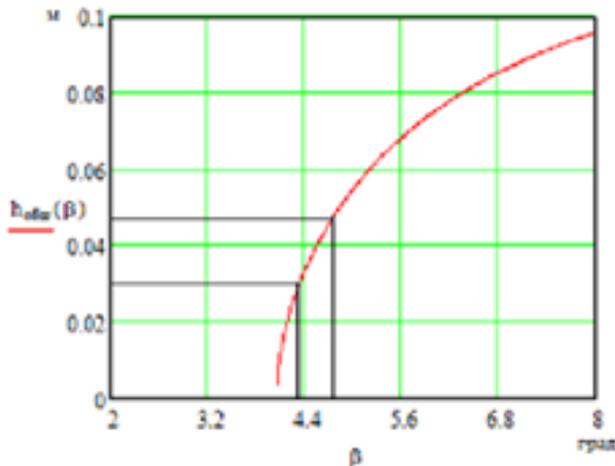


Рис.6 – Зависимость общей глубины борозды с учетом угла между дисками сошника сеялки  
Fig.6 – Dependence of the total depth of the furrow, taking into account the angle between the discs of the seeder coulters

Анализ рисунка 6 показал, что увеличение угла между дисками сошника способствует увеличению общей глубины борозды с учетом осыпания почвы. Чем шире борозда, тем на меньшую глубину она осыпается, но в то же время слишком сильное раскрытие борозды будет способствовать перемешиванию почвы и при её заделке возможно попадание верхних слоёв почвы в низ борозды к семенам. Поэтому для обеспечения посева семян на глубине от 0,03 до 0,05 м рациональным значением угла между дисками будет 5 градусов.

Для исключения ожога ростков азотным удобрением необходимо создать прослойку почвы между семенами и удобрением

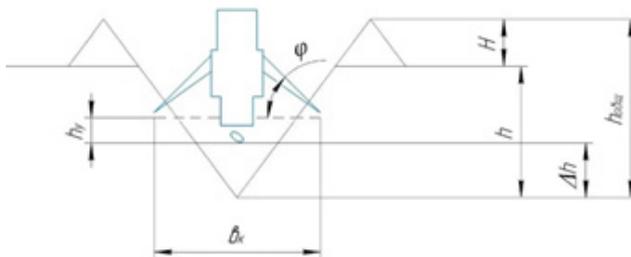


Рис.7 – Схема к расчету крыльев уплотнителя сошника сеялки

Fig.7 – Scheme for the calculation of the wings of the sealer of the seeder

Рассчитаем ширину крыльев уплотнителя для обеспечения необходимой глубины прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями,

исходя из объема почвы, сбрасываемой крыльями уплотнителя сошника сеялки на дно борозды.

$$S_k = h_y \frac{1}{2} \cdot \left( b_6 + \frac{2h_y}{\tan \varphi} + b_6 \right) \quad (16)$$

где  $S_k$  – объем почвы, необходимый для закрытия борозды на глубину  $h_y$ ,

$h_y$  – глубина прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями.

Тогда необходимая ширина крыльев уплотнителя сошника сеялки для засыпания борозды объемом  $S_k$ :

$$S_k = \left( b_k - \left( b_6 - \frac{2h_y}{\tan \varphi} \right) \right)^2 \sin \varphi \quad (17)$$

Приравняв уравнения (16) и (17) и используя подстановку  $b_y = b_6 - 2h_y \cos \varphi$ , имеем

$$\frac{1}{2} h_y (b_6 + b_y) = (b_k - b_y)^2 \sin \varphi \quad (18)$$

Выразим  $b_k$  из выражения (18)

$$(b_k^2 - 2b_k b_y + b_y^2) \sin \varphi - \frac{1}{2} b_6 h_y - \frac{1}{2} b_y h_y = 0 \quad (19)$$

Полученное выражение (19) представляет собой квадратный трехчлен, определим корни этого уравнения

$$b_k^2 - 2b_k b_y + b_y^2 - \frac{h_y}{2 \sin \varphi} (b_6 + b_y) = 0 \quad (20)$$

Таким образом, ширина крыльев уплотнителя сошника сеялки будет определяться формулой:

$$b_k = b_6 - 2h_y \cos \varphi + \sqrt{\frac{h_y}{\sin \varphi} \left( b_6 + \frac{h_y}{\tan \varphi} \right)} \quad (21)$$

Рассчитаем в программе MathCAD ширину крыльев уплотнителя с учетом глубины прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями

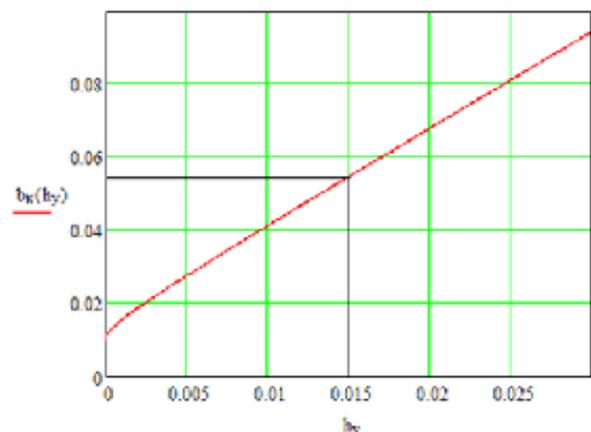


Рис.8 – Зависимость ширины крыльев уплотнителя от глубины прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями

Fig.8 – Dependence of the width of the sealer wings on the depth of the soil layer between seeds and nitrogen fertilizers



Анализ рисунка 8 показал, что для обеспечения прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями необходимо часть почвы стенок борозды сыпать на дно борозды, используя крылья уплотнителя. Таким образом, для глубины прослойки борозды 0,015 м ширина крыльев уплотнителя должна составлять 0,055 м.

#### Заключение

Для исключения ожога ростков азотным удобрением необходимо создать прослойку почвы между семенами и удобрением. Для обеспечения прослойки почвы между семенами и азотными удобрениями необходимо часть почвы стенок борозды сыпать на дно борозды, используя крылья уплотнителя сошника сеялки. Глубина прослойки почвы напрямую зависит от ширины крыльев уплотнителя.

#### Список источников

1. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: учебник / Н.И. Кленин, В.А. Сакун. – Москва: Колос, 1994. – 751 с.
2. Зыкин, Е. С. Обоснование технологических параметров и режимов работы сошниковой группы гребневой сеялки / Е. С. Зыкин, В. И. Курдюмов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2014. – № 3. – С. 58-61. – EDN SCRVSN.
3. Юмаев Д. М. Исследование параметров современных систем внесения жидких удобрений на основании анализа форсунок-распылителей /

Д. М. Юмаев, Г. К. Рембалович, М. Ю. Костенко, А. В. Ерохин // Инновационные решения в области развития транспортных систем и дорожной инфраструктуры / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева» автодорожный факультет инженерный факультет – Рязань, 2022. – С. 335-340.

4. Юмаев Д. М. Исследование особенностей машин для внесения удобрений / Д. М. Юмаев, А. С. Лазутин, Г. К. Рембалович // Инновационные решения для АПК, Рязань, 16 февраля 2023 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» совет молодых учёных ФГБОУ ВО РГАТУ совет молодых учёных и специалистов Рязанской области / Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева– Рязань, 2023. – С. 207-213.

5. Моделирование влияния удобрений на динамику контуров увлажнения при капельном орошении / И. А. Успенский, И. В. Фадеев, В. В. Алексеев, В. П. Филиппов // Инженерные технологии и системы. – 2021. – Т. 31, № 1. – С. 97-108.

*Вклад авторов:*

*Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

#### References

1. Klenin N.I. Sel'skohozyajstvennyye i meliorativnyye mashiny: uchebnyy / N.I. Klenin, V.A. Sakun. – Moskva: Kolos, 1994. – 751 s.
2. Zykin, E. S. Obosnovanie tekhnologicheskikh parametrov i rezhimov raboty soshnikovoy gruppy grebnevoiy seyalki / E. S. Zykin, V. I. Kurdyumov // Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennykh nauk. – 2014. – № 3. – S. 58-61. – EDN SCRVSN.
3. YUmaev D. M. Issledovanie parametrov sovremennykh sistem vneseniya zhidkiy udobreniy na osnovanii analiza forsunok-raspylitelej / D. M. YUmaev, G. K. Rembalovich, M. YU. Kostenko, A. V. Erohin // Innovacionnyye resheniya v oblasti razvitiya transportnykh sistem i dorozhnoy infrastruktury / Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii, Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet imeni P. A. Kostycheva» avtodorozhnyj fakul'tet inzhenernyj fakul'tet – Ryazan', 2022. – S. 335-340.
4. YUmaev D. M. Issledovanie osobennostej mashin dlya vneseniya udobreniy / D. M. YUmaev, A. S. Lazutin, G. K. Rembalovich // Innovacionnyye resheniya dlya APK, Ryazan', 16 fevralya 2023 goda / Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii, Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva» sovet molodykh uchyonykh FGBOUVORGATU sovet molodykh uchyonykh i specialistov Ryazanskoj oblasti / Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet im. P.A. Kostycheva– Ryazan', 2023. – S. 207-213.
5. Modelirovanie vliyaniya udobreniy na dinamiku konturov uvlazhneniya pri kapel'nom oroshenii / I. A. Uspenskij, I. V. Fadeev, V. V. Alekseev, V. P. Filippov // Inzhenernye tekhnologii i sistemy. – 2021. – T. 31, № 1. – S. 97-108

*Authors' contribution:*

*All authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare no conflict of interest.*



### Информация об авторах

**Юмаев Дмитрий Михайлович**, ассистент кафедры технологии металлов и ремонта машин, yumaeb@yandex.ru

**Рембалович Георгий Константинович**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии металлов и ремонта машин, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, rgk.rgatu@yandex.ru

**Костенко Михаил Юрьевич**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии металлов и ремонта машин, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, kostenko.mihail2016@yandex.ru

**Шемякин Александр Владимирович**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации транспортных процессов и безопасности жизнедеятельности, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, shem.alex62@yandex.ru

**Борычев Сергей Николаевич**, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительства инженерных сооружений и механики, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, 89066486088@mail.ru

### Author information

**Yumaev Dmitry M.**, Assistant of the Department of Metal Technology and Machine Repair, yumaeb@yandex.ru

**Rembalovich Georgy K.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, rgk.rgatu@yandex.ru

**Kostenko Mikhail Yu.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metal Technology and Machine Repair, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, kostenko.mihail2016@yandex.ru

**Shemyakin Alexandr V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Organization of Transport Processes and Life Safety, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, shem.alex62@yandex.ru

**Borychev Sergey N.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction of Engineering Structures and Mechanics, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 89066486088@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20.08.2023; одобрена после рецензирования 12.09.2023; принята к публикации 20.09.2023.

The article was submitted 20.08.2023; approved after reviewing 12.09.2023; accepted for publication 20.09.2023.

